

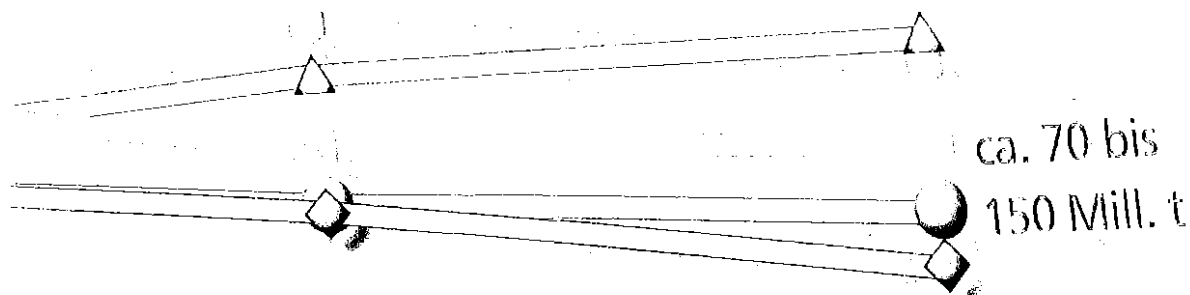


# Politikszzenarien für den Klimaschutz

Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes  
herausgegeben von  
G. Stein und B. Strobel

Band 1: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung  
von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland  
bis zum Jahre 2005

renzzenario  
II  
95  
A-Szenario



nsziel für 2005

von: H.-J. Ziesing, J. Diekmann, R. Hopf (DIW);  
M. Kleemann, G. Kolb, P. Markewitz, D. Martinsen (STE);  
E. Jochem, K. Ostertag, B. Schlomann (FhG-ISI);  
M. Cames, F. Chr. Matthes (Öko-Institut)

2000

2005

10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
80  
90  
100









Forschungszentrum Jülich GmbH  
Programmgruppe Technologiefolgenforschung

# Politikszzenarien für den Klimaschutz

Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Band 1

### Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005

herausgegeben von  
Gotthard Stein und Bernd Strobel

Federführung :  
Hans-Joachim Ziesing  
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin

Bearbeiter :  
Jochen Diekmann, Rainer Hopf, Hans-Joachim Ziesing  
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin

Manfred Kleemann, Gerhard Kolb, Peter Markewitz, Dag Martinsen  
Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Systemforschung und  
Technologische Entwicklung (STE), Jülich

Eberhard Jochem, Kathrin Ostertag, Barbara Schlomann  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe

Martin Cames, Felix Christian Matthes  
Öko-Institut, Berlin

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Umwelt

Band 5

---

ISSN 1433-5530      ISBN 3-89336-215-0

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Politiksznarien für den Klimaschutz** : Untersuchungen / Forschungszentrum Jülich. Im Auftr.  
des Umweltbundesamtes. Hrsg. von G. Stein und B. Strobel. - Bd. 1. Szenarien und Maßnahmen  
zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 / Bearb.: Jochen  
Diekmann ... - Jülich : Forschungszentrum, Zentralbibliothek, 1997  
(Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt ; Band 5)  
ISBN 3-89336-215-0

Herausgeber            Forschungszentrum Jülich GmbH  
und Vertrieb:        ZENTRALBIBLIOTHEK  
                         D-52425 Jülich  
                         Telefon (024 61) 61-53 68 · Telefax (024 61) 61-61 03  
                         e-mail: zb-publikation@fz-juelich.de

Umschlaggestaltung: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Druck:                Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright:           Forschungszentrum Jülich 1997

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Umwelt Band 5

ISSN 1433-5530

ISBN 3-89336-215-0

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 109 05 005 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



**Vorwort**  
**der Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz**  
**und Reaktorsicherheit,**  
**Frau Dr. Angela Merkel**

Grundlage für die Formulierung der Klimavorsorgepolitik durch die Bundesregierung waren u.a. die Ergebnisse des umfassenden Studienprogramms der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ sowie zahlreiche andere wissenschaftliche Studien, die sich sowohl mit der gesamten Fragestellung als auch mit Teilaspekten auseinandersetzten. Ein Instrument, mit dem alternative Minderungsstrategien systematisch analysiert und bewertet werden konnten, fehlte zu diesem Zeitpunkt. Bereits im zweiten Beschluß der Bundesregierung zur Minderung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland vom 07. November 1990 kündigte die Bundesregierung ein solches Instrumentarium an. Unter dem Namen IKARUS wurde im Auftrag des BMBF ein Instrument, mit dem das nationale Energieversorgungssystem als Hauptverursacher für CO<sub>2</sub>-Emissionen erfaßt werden kann, in den Jahren 1990 - 1995 entwickelt.

Unter Nutzung von IKARUS haben das Forschungszentrum Jülich, das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, das Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, sowie das Öko-Institut Berlin im Auftrag des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes das Projekt „Politiksznarien für den Klimaschutz“ durchgeführt. Aufgabe dieses Projektes waren die Entwicklung eines Referenzszenarios sowie die Analyse der CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale, die durch die bis zum 29. September 1994 vom Bundeskabinett verabschiedeten Klimaschutzmaßnahmen bis zum Jahre 2005 erschlossen werden. Darüber hinaus sollten Empfehlungen für zusätzliche Maßnahmen gegeben werden, mit denen das nationale

Klimaschutzziel einer Reduktion von 25 % CO<sub>2</sub> bis zum Jahre 2005 auf der Basis des Jahres 1990 erreicht werden kann.

Diese Arbeiten sind im engen Zusammenhang zu sehen mit der Vorlage des 4. Berichts der Interministeriellen Arbeitsgruppe (IMA) „CO<sub>2</sub>-Reduktion“, der vom Bundeskabinett am 06. November 1997 verabschiedet wurde. Deshalb wurden die zwischenzeitlich erreichten Ergebnisse dieses Projekts immer wieder im Kreis der IMA „CO<sub>2</sub>-Reduktion“ erörtert.

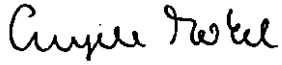
Das Ergebnis der intensiven Arbeiten hat zu drei Szenarien geführt, die mittlerweile auch in die Klimaschutzpolitik der Bundesregierung unter den Bezeichnungen

- ◆ „Ohne-Maßnahmen-Szenario“, das gedanklich die Abwesenheit von klimaschutzpolitischen Maßnahmen unterstellt,
- ◆ „Mit-Maßnahmen-Szenario“, das die bis zum 29.09.1994 verabschiedeten Maßnahmen berücksichtigt, sowie
- ◆ „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“, mit dessen Hilfe zusätzliche Maßnahmen vorgeschlagen werden,

Eingang gefunden haben. Zahlreiche der von den Projektarbeitern vorgeschlagenen Maßnahmen finden sich im 4. Bericht der IMA „CO<sub>2</sub>-Reduktion“ wieder. Es sind allerdings nicht alle Empfehlungen der Projektarbeiter aufgegriffen worden.

Das Projekt hat erneut bewiesen, daß Prognosen und Szenarien für die Politik unverzichtbare Hilfsmittel sind, um eine Vorstellung vom künftig Möglichen zu erhalten und die Auswirkungen denkbarer Maßnahmen abschätzen zu können. Im Bereich der Energiepolitik haben Prognosen und Szenarien sowohl auf der nationalen Ebene als auch auf der europäischen und internationalen Ebene seit jeher eine wichtige Rolle gespielt. In der politischen Diskussion geht allerdings ein wenig verloren, daß es kein gesichertes Zukunftswissen gibt und Prognosen nicht mehr sein können als „Wenn-dann-Aussagen“. Jede Prognose ist eng an ermittelte zukunftsorientierte Entwicklungen geknüpft, die Aussage eines jeden Szenarios hängt von den gesetzten Prämissen ab. Das bedeutet aber auch: Je nach Annahmen über die weitere Entwicklung der ökonomischen, demographischen und politischen Randbedingungen sowie je nach Einschätzung der energieverbrauchsrelevanten Wirkungszusammenhänge sind gleichzeitig immer mehrere, in sich konsi-

stente und widerspruchsfreie Beschreibungen der Zukunft möglich. Dessen sollte man sich auch bei der Nutzung und Erörterung der Ergebnisse des Vorhabens „Politiksznarien für den Klimaschutz“ immer bewußt sein.

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Angela Merkel'. The script is cursive and fluid.

Dr. Angela Merkel





# INHALTSVERZEICHNIS

Vorbemerkungen zum Auftrag und zur Vorgehensweise .....	1
<b>I      Allgemeiner und sektorübergreifender Teil.....</b>	<b>5</b>
1      CO <sub>2</sub> -Emissionen: Ausgangslage und Perspektiven bis 2005.....	5
2      Überblick über die Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland.....	16
3      Methoden der Wirkungsanalyse.....	22
3.1    Vorbemerkung .....	22
3.2    Charakterisierung von Maßnahmen.....	22
3.3    Maßnahmenwirkungen .....	24
3.4    Analysemethoden .....	25
3.5    Hinweise zu vorwiegend qualitativ zu behandelnden Maßnahmen .....	28
4      Literatur zu Teil I.....	32
<b>II     Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren.....</b>	<b>33</b>
1      Sektorübergreifende Maßnahmen .....	35
2      Energie- und Umwandlungssektoren.....	37
2.1    Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft.....	37
2.1.1    Elektrizitätswirtschaft.....	38
2.1.2    Fernwärmewirtschaft.....	44
2.2    Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien.....	45
2.2.1    Bisherige Nutzung und Status-Quo-Prognose.....	46
2.2.2    Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien.....	47

## II

2.2.3	Wirkungen bisher ergriffener Maßnahmen .....	51
2.2.3.1	Vergütungsregelungen.....	51
2.2.3.2	Förderprogramm des BMWi zur Nutzung erneuerbarer Energien.....	56
2.2.3.3	Finanzierungs erleichterungen.....	59
2.2.3.4	Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration.....	62
2.2.3.5	Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft.....	67
2.2.3.6	Sonstige Maßnahmen .....	68
2.2.4	Wirkungen weiterer Maßnahmen .....	70
2.2.4.1	Vorschlag einer forcierten finanziellen Förderung .....	70
2.2.4.2	100 000-Dächer-Photovoltaik-Programm .....	71
2.2.4.3	Sonstige Maßnahmen .....	72
2.2.5	Maßnahmenbündel zur Förderung erneuerbarer Energien .....	72
2.3	Literatur zu den Kapiteln 1 und 2 .....	76
3	Verkehr.....	78
3.1	Vorbemerkungen.....	78
3.2	Wirksamkeit von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln zur Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	79
3.2.1	Ergriffene Maßnahmen .....	80
3.2.2	Weitere Maßnahmen .....	93
3.2.2.1	Vorbemerkungen.....	93
3.2.2.2	Von der Bundesregierung vorgesehene sowie zusätzlich vorgeschlagene Maßnahmen .....	95
3.3	Literatur zum Kapitel 3 .....	121
4	Industrie und Kleinverbraucher .....	123
4.1	Ausgangslage und Referenzentwicklung .....	123
4.2	Beschreibung der untersuchten Maßnahmen und Wirkungsabschätzung für energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	126
4.2.1	Ordnungsrecht.....	127
4.2.1.1	Ergriffene Maßnahmen .....	127
4.2.1.2	Weitere in Betracht gezogene ordnungsrechtliche Maßnahmen .....	130

### III

4.2.2	Preispolitik .....	134
4.2.2.1	Ergriffene Maßnahmen .....	134
4.2.2.2	Weitere in Betracht gezogene preispolitische Maßnahmen .....	135
4.2.3	Subventionen .....	137
4.2.3.1	Ergriffene Maßnahmen .....	140
4.2.3.2	Weitere in Betracht gezogene subventionspolitische Maßnahmen .....	142
4.2.4	Öffentliche Investitionen .....	144
4.2.5	Forschungsförderung .....	144
4.2.5.1	Ergriffene Maßnahmen .....	144
4.2.5.2	Weitere in Betracht gezogene FuE-Maßnahmen .....	148
4.2.6	Information, Beratung, Fortbildung .....	149
4.2.6.1	Informationsinstrumente .....	149
4.2.6.2	Beratung im Bereich Industrie und Kleinverbrauch .....	153
4.2.6.3	Berufliche Aus- und Weiterbildung .....	155
4.2.7	Selbstverpflichtungen der deutschen Industrie und zum Kleinverbrauch .....	157
4.2.7.1	Selbstverpflichtungen aus den Jahren 1995 und 1996 .....	158
4.2.7.2	Exkurs: Integrierte Betrachtung der CO <sub>2</sub> -Reduktionsziele der drei Energiewirtschaftsverbände (BGW, VKU und MWV) .....	161
4.2.7.3	Weitere denkbare Selbstverpflichtungen .....	164
4.2.8	Sonstige Maßnahmen und Akteure .....	166
4.2.8.1	Ergriffene Maßnahmen .....	166
4.2.8.2	In Betracht gezogene Maßnahmen .....	169
4.3	Nichtenergiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	170
4.3.1	Ausgangslage und Referenzentwicklung .....	171
4.3.2	Beschreibung der untersuchten Maßnahmen und Wirkungsabschätzung für prozeßbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	174
4.3.2.1	Ergriffene Maßnahmen .....	174
4.3.2.2	Weitere Maßnahmen .....	175
4.3.3	Zusammenfassung .....	178
4.4	Maßnahmenbündel für Industrie und Kleinverbraucher .....	179
4.5	Literatur zum Kapitel 4 .....	183

## IV

5	Maßnahmen zur Minderung der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen bei den privaten Haushalten.....	185
5.1	Raumwärmesektor .....	185
5.1.1	Ausgangslage und Referenzentwicklung .....	185
5.1.2	Kurzbeschreibung der Maßnahmen des Bundes .....	186
5.1.4	Erreichbare CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch ergriffene Maßnahmen.....	191
5.1.5	Freiwillige Selbstverpflichtung der Energiewirtschaftsverbände MWV, BGW und VKU.....	195
5.1.6	CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch weitere Maßnahmen.....	198
5.1.7	Umsetzbarkeit der weiteren Maßnahmen bis 2005 .....	205
5.1.8	Zusammenfassung und Bewertung der Ländermaßnahmen.....	207
5.1.9	Vergleich mit den Ergebnissen der RWI/ifo-Studie .....	208
5.1.10	Literatur zum Kapitel 5.1.....	211
5.2	Warmwasserbereitung, Kochen und andere elektrische Geräte in privaten Haushalten .....	212
5.2.1	Vorbemerkungen.....	212
5.2.2	Maßnahmen in der Referenzentwicklung.....	214
5.2.2.1	Maßnahmen im Bereich Warmwasserbereitung.....	214
5.2.2.2	Maßnahmen im Bereich Elektrogeräte .....	216
5.2.3	Zusätzliche Maßnahmen .....	217
5.2.3.1	Maßnahmen im Bereich Warmwasserbereitung.....	217
5.2.3.2	Maßnahmen im Bereich Elektrogeräte .....	222
5.2.4	Zusammenfassung .....	226
5.2.5	Literatur zum Kapitel 5.2.....	227
6	Zusammenfassung der Maßnahmen .....	228
<b>III</b>	<b>Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen .....</b>	<b>240</b>
1	Vorbemerkungen.....	240
2	Handlungsfelder und Szenarien nach den IKARUS-Modellrechnungen .....	241
2.1	Vorbemerkungen.....	241
2.2	Politikrelevante Szenarioparameter.....	242

2.3	Ergebnisse der IKARUS-Szenariorechnungen .....	243
2.3.1	Referenzszenario im Vergleich zur Prognos-Prognose .....	243
2.3.2	Reduktionsszenario für die alten Bundesländer .....	245
2.3.3	Technische Reduktionsmaßnahmen nach Reduktionszielen und Kostenklassen: Ermittlung von Prioritäten in Abhängigkeit von Reduktionsvorgaben .....	249
3	Die Verdichtung der klimaschutzpolitischen Maßnahmen zu sektoralen Szenarien .....	254
4	Die Verdichtung der klimaschutzpolitischen Maßnahmen zu den sektor-übergreifenden Szenarien .....	261
4.1	Das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ .....	261
4.2	Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ .....	262
4.3	Das „Mit-weiteren Maßnahmen-Szenario“ .....	265
4.4	Die Szenarien in der Gegenüberstellung und in der IPCC-Abgrenzung .....	267
5	Der Einfluß des veränderten Außenhandels mit energieintensiven Erzeugnissen auf die Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der deutschen Industrie .....	271
6	Zusammenfassung der Entwicklung der energiebedingten und sonstigen Treibhausgasemissionen in den drei Szenarien .....	276
<b>IV</b>	<b>IKARUS-Szenarien für eine klimaverträgliche Energieversorgung .....</b>	<b>280</b>
1	Einleitung .....	280
2	Modellbeschreibung .....	282
2.1	Was können Energiemodelle und was nicht? .....	282
2.2	Charakteristika des IKARUS-LP-Modells .....	288
2.2.1	Optimierungsansatz und makroökonomische Einbettung .....	288
2.2.2	Modellstruktur .....	290
2.2.3	Kostenberechnung im IKARUS-Modell .....	293
2.2.4	Analysemöglichkeiten mit dem IKARUS-Modell .....	300

2.3	Unterschiede zwischen IKARUS und PROGROS beim methodischen und analytischen Vorgehen .....	302
3	Charakterisierung der Daten .....	304
3.1	Rahmendaten und ihre Rolle für das Modell und die Ergebnisse .....	304
3.2	Charakterisierung des IKARUS-Modelldatensatzes .....	306
3.3	Unterschiede in den Daten bei IKARUS und Prognos .....	307
4	Annahmen und politikrelevante Begrenzungen für die Szenarien .....	308
4.1	Anmerkungen zur grundsätzlichen Bedeutung von Begrenzungen .....	308
4.2	Festlegung von Importpreisen und Energienachfragen im IKARUS-Modell .....	310
4.3	Definition der Szenarien .....	312
4.4	Beschreibung der politikrelevanten Energieträger-Begrenzungen .....	314
5	Ergebnisse der IKARUS-Szenariorechnungen .....	319
5.1	Referenzszenarien für die alten und neuen Bundesländer 1989/2005 .....	319
5.2	Reduktionsszenarien für die alten Bundesländer 2005 .....	329
5.3	Ermittlung der Prioritäten bei den Reduktionsmaßnahmen durch Veränderung der CO <sub>2</sub> -Restriktion .....	351
6	Identifizierung von Handlungsfeldern für die CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	355
6.1	Vorbemerkungen .....	355
6.2	Umwandlungssektor .....	356
6.2.1	Stromerzeugung .....	356
6.2.2	Fernwärme .....	364
6.3	Haushaltssektor .....	365
6.3.1	Abgrenzungen, Technologieoptionen und Sparmaßnahmen .....	365
6.3.2	Szenarioabhängige CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	366
6.3.3	CO <sub>2</sub> -Minderungsmaßnahmen zur Zielerreichung .....	368
6.3.4	Zuordnung der IKARUS-Handlungsfelder zu den Einzelmaßnahmen .....	370
6.3.5	Umsetzbarkeit der Zielszenarien bis 2005 .....	371

## VII

6.4	Verkehrssektor.....	372
6.4.1	Abgrenzungen, Technologieoptionen und Sparmaßnahmen.....	372
6.4.2	Szenarioabhängige CO <sub>2</sub> -Emissionen und -Einsparungen.....	375
6.4.3	CO <sub>2</sub> -Minderungsmaßnahmen.....	381
6.5	Industrie und Kleinverbraucher.....	384
6.5.1	Industrie.....	384
6.5.2	Kleinverbraucher.....	391
7	Literatur zum Teil IV.....	395

### Anhang zu Kapitel II. 5.1: Detailrechnungen zu den

Minderungsmaßnahmen im Raumwärmebereich.....	396
--	-----





## Vorbemerkungen zum Auftrag und zur Vorgehensweise

Angesichts der weltweit drohenden Klimagefahren verfolgt die Bundesregierung das Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 um 25 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Auf welche Weise sie dieses Ziel erreichen will, hat sie in ihrem ersten Nationalbericht nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen ausgeführt.<sup>1</sup> In diesem Nationalbericht wurden insgesamt 109 Maßnahmen genannt, von denen zum Zeitpunkt der Berichterstattung 88 Maßnahmen bereits beschlossen und umgesetzt waren, während sich 21 Maßnahmen noch in der Phase der Vorbereitung oder Diskussion befanden.

Inzwischen sind einige weitere Klimaschutzpolitische Maßnahmen hinzugekommen, darunter - als die wohl bedeutsamste - die Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft vom 27. März 1996. Andererseits wurden einige Maßnahmen, die noch im Nationalbericht aufgeführt worden waren, zurückgestellt oder gar nicht weiter verfolgt. Dies gilt unter Berücksichtigung der Selbstverpflichtungserklärung beispielsweise für die ursprünglich vorgesehene Einführung einer *alle* Sektoren (also auch die an der Selbstverpflichtung beteiligten Branchen) betreffenden CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer oder die Verabschiedung einer Wärmenutzungsverordnung.

Mit der Vielzahl von Maßnahmen hat die Bundesregierung ihre Absicht unterstrichen, das gesteckte CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel bis 2005 zu verwirklichen. Allerdings wurde nicht deutlich gemacht, welche quantitativen Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch diese Maßnahmen im einzelnen und in ihrer Summe zu erwarten wären.

Vor diesem Hintergrund wurde das Forschungszentrum Jülich (KFA) vom Umweltbundesamt (UBA) im Rahmen seines Umweltforschungsplanes mit der Durchführung eines Vorhabens „Politiksznarien für den Klimaschutz“ beauftragt. Dabei sollten auch die

---

<sup>1</sup> Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, September 1994.

Erkenntnisse und Instrumente aus dem vom BMBF geförderten IKARUS-Projekt<sup>2</sup> für die Berichterstattung der Bundesregierung und für Strategieüberlegungen im Rahmen der Klimaschutzkonvention nutzbar gemacht werden. Die administrative Koordination des Gesamtvorhabens übernahm - wie beim IKARUS-Projekt - die KFA-Programmgruppe „Technikfolgenforschung“ (TFF). Projektpartner für die fachliche Durchführung sind das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) und die KFA-Programmgruppe „Systemforschung und Technologische Entwicklung“ (STE) sowie das Öko-Institut.

Insgesamt gliedert sich das gesamte Projekt in fünf Teilvorhaben.<sup>3</sup> Der hier vorgelegte Bericht bezieht sich auf das Teilvorhaben 2, dessen Schwerpunkt auf der Erarbeitung von Politikszenerarien zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen liegt. Der Auftrag zu diesem Teilvorhaben beinhaltet vor allem die Quantifizierung der Wirksamkeit der von der Bundesregierung bisher schon ergriffenen oder vorgesehenen Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasfreisetzungen, insbesondere von CO<sub>2</sub>, in Form von modellgestützten Expertenschätzungen sowie die Ermittlung von Handlungsfeldern für Maßnahmen zur Emissionsreduktion mit volkswirtschaftlich minimalen Kosten mit Hilfe des IKARUS-Modells. Eine maßnahmenbezogene Schätzung von Kosten und gesamtwirtschaftlichen Wirkungen war nicht Bestandteil des Auftrages.

Gegebenenfalls sollten von den Gutachtern zusätzliche *staatliche* Maßnahmen untersucht werden, die zur Erreichung des CO<sub>2</sub>-Reduktionszieles von 25 % bis zum Jahre 2005 erforderlich werden könnten. Ein Ausbau der Kernenergie über den Status Quo hinaus ist

<sup>2</sup> Im IKARUS-Projekt ist ein Instrumentarium entwickelt worden, mit dem Strategien zur Reduktion energiebedingter Klimagasemissionen untersucht und hinsichtlich der einzusetzenden Techniken nach bestimmten Kriterien - Minimierung der Kosten bei vorgegebenen Emissionen - optimiert werden können. Das Instrumentarium besteht aus energiewirtschaftlichen Computer-Modellen sowie einer umfangreichen Datenbank.

<sup>3</sup> Beim Teilvorhaben 1 (Federführung: STE) geht es um die Anwendung des IKARUS-Instrumentariums im UBA. Teilvorhaben 2 (Federführung: DIW) zielt auf die Erarbeitung von Politikszenerarien mit Schwerpunkt auf der Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, während im Teilvorhaben 3 (Federführung: FhG-ISI) die Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgasemissionen, ausgenommen energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen, untersucht werden. Mit dem Teilvorhaben 4 (Federführung: Öko-Institut) sollen die Voraussetzungen (rechnergestützte Hilfsmittel) für eine regelmäßige Berichterstattung über Fortschritte bei der Verminderung von Treibhausgasemissionen verbessert werden. Schließlich soll im Teilvorhaben 5 (Gemeinsame Federführung: TFF und DIW) ein Methodikleitfaden für die Wirkungsschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung entwickelt werden.

dabei ebenso wenig in Betracht gezogen worden wie ein Verzicht auf dessen Nutzung. Auch eine umfassende Einführung von hohen Energiesteuern im Rahmen einer ökologischen Steuerreform wurde dieser Untersuchung nicht zugrunde gelegt. Da sich der Betrachtungshorizont der Untersuchung auftragsgemäß bis zum Jahre 2005 erstreckt, kommen Optionen, die - wie die erneuerbaren Energiequellen - erst in einer längeren Perspektive einen größeren Beitrag zur Emissionsreduktion leisten, nur begrenzt zum Tragen.

Innerhalb des Teilvorhabens 2 wurde dem DIW die Federführung für die Wirkungsanalysen von Maßnahmen und die Erstellung der Politiksznarien übertragen. Die Rechnungen mit dem IKARUS-Modell lagen in der Verantwortung und Federführung der STE. Ungeachtet der Federführung und der engen wechselseitigen Abstimmung ist zwischen den beteiligten Instituten folgende Arbeitsteilung verabredet worden:

DIW:	Energiewirtschaft, erneuerbare Energiequellen, Verkehr und Szenarienvergleiche; Koordination
FhG-ISI:	Industrie und Kleinverbraucher (einschließlich Kraft-Wärme-Kopplung in diesen Bereichen)
ÖKO:	Elektrogeräte und Warmwasserbereitung im Sektor Haushalte
STE:	Raumwärme im Sektor Haushalte sowie Rechnungen mit dem IKARUS-Modell

Der hier vorgelegte Bericht umfaßt vier Teile:

- Der allgemeine und sektorübergreifende Teil I gibt einen Überblick über die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland im bisherigen Verlauf der neunziger Jahre, über die von verschiedenen Autoren erwarteten Entwicklungen bis 2005, über die von der Bundesregierung ergriffenen oder vorgesehenen Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen sowie über methodische Grundlagen und Probleme von Wirkungsanalysen klimaschutzpolitischer Maßnahmen.
- Im Teil II werden bisher ergriffene und weitere politische Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen getrennt nach einzelnen Emittentengruppen beschrieben und vor

allem hinsichtlich ihrer emissionsmindernden Wirkungen im Jahr 2005 analysiert. Es werden auch die Grenzen einer Quantifizierung von einer Reihe von Maßnahmen erläutert. Aufgrund methodischer Probleme einer isolierten Zurechnung der Wirkungen von einzelnen Maßnahmen werden ergänzend die Minderungswirkungen von sektoral bezogenen Maßnahmenbündeln geschätzt.

- Im Teil III werden zunächst wichtige technologiebezogene Handlungsfelder auf der Grundlage von IKARUS-Modellrechnungen unter Kostenaspekten klassifiziert. Die in Teil II geschätzten Wirkungen werden zu sektoralen und sektorübergreifenden Szenarien verdichtet. Einem *Mit-Maßnahmen-Szenario*, das sich vereinbarungsgemäß an der Vorausschätzung von Prognos (1995) anlehnt und (darüber hinaus) bis Mitte 1996 ergriffene Maßnahmen umfaßt, wird zum einen ein *Ohne-Maßnahmen-Szenario* gegenübergestellt, um die Wirkungen der bisherigen Politik zu messen. Da allein mit den bisherigen Maßnahmen das Ziel einer 25 %igen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen voraussichtlich nicht erreicht werden könnte, wird zum anderen ein zielorientiertes *Mit-weiteren Maßnahmen-Szenario* formuliert.
- Teil IV gibt einen detaillierten Überblick über methodische Grundlagen des IKARUS-Modells, über die in die Modellrechnungen einfließenden Annahmen zur Entwicklung der energiebedarfsbestimmenden Faktoren sowie über die Ergebnisse von ausgewählten Optimierungsrechnungen.

# I Allgemeiner und sektorübergreifender Teil

## 1 CO<sub>2</sub>-Emissionen: Ausgangslage und Perspektiven bis 2005<sup>4</sup>

### Entwicklung von 1990 bis 1995

In der ersten Hälfte der neunziger Jahre sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bereits um rund 120 Mill. t oder um knapp 12 % gesunken. Danach wäre also bereits in den ersten fünf Jahren etwa die Hälfte des von der Bundesregierung bis 2005 angestrebten Reduktionszieles erreicht worden (Tabelle 1).

Tabelle 1

### Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 1995 nach Sektoren in der Nomenklatur und Systematik des IPCC

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer				Deutschland			
	CO <sub>2</sub> -Emiss.		Änderungen		CO <sub>2</sub> -Emiss.		Änderungen		CO <sub>2</sub> -Emiss.		Änderungen	
	1990	1995	1990/1995		1990	1995	1990/1995		1990	1995	1990/1995	
	Mill. t				Mill. t				Mill. t			
Gesamtemission/-festlegung	708,8	722,1	13,4	1,9	305,4	172,3	-133,1	-43,6	1014,2	894,5	-119,7	-11,8
1 Energiebedingte Emissionen	686,8	700,1	13,3	1,9	299,8	169,1	-130,7	-43,6	986,6	869,3	-117,4	-11,9
A Verbrennungsbedingt	686,8	700,1	13,3	1,9	299,8	169,1	-130,7	-43,6	986,6	869,3	-117,4	-11,9
1 Energieerzeugung und -umwandlung	275,6	276,7	1,1	0,4	163,9	96,5	-67,3	-41,1	439,4	373,2	-66,2	-15,1
2 Industrie	120,7	111,5	-9,2	-7,6	49,0	15,3	-33,7	-68,7	169,7	126,8	-42,9	-25,3
3 Verkehr	136,8	144,6	7,8	4,1	19,8	26,2	6,4	32,1	158,6	170,7	12,1	7,6
4 Haushalte, Kleinverbr., Gewerbe <sup>1)</sup>	136,8	157,2	20,4	13,3	59,4	28,8	-30,6	-51,5	186,2	186,1	-0,1	-0,1
- Haushalte	83,3	115,9	32,6	24,2	35,1	19,3	-15,8	-45,0	128,4	135,2	6,8	5,3
- Kleinverbraucher, Gewerbe <sup>1)</sup>	45,5	41,4	-4,1	-9,0	24,3	9,5	-14,8	-60,8	69,8	50,9	-18,9	-27,1
5 Andere (einschl. Müllabf.) <sup>2)</sup>	12,9	10,2	-2,7	-21,2	7,7	2,3	-5,4	-70,7	20,6	12,5	-8,2	-39,6
6 Verbrennung von Biomasse												
B Förd./Verteilung von Brennstoffen												
2 Industrie	22,0	22,0	0,0	0,2	5,6	3,2	-2,4	-42,5	27,5	25,2	-2,3	-8,4
Internationaler Verkehr <sup>3)</sup>	17,7	KA	KA	KA	1,9	KA	KA	KA	19,6	KA	KA	KA
Hochseefischereien	6,6	KA	KA	KA	1,4	KA	KA	KA	8,0	KA	KA	KA
Internationaler Luftverkehr	11,1	13,5	2,5	22,2	0,5	0,3	-0,2	-32,8	11,6	13,9	2,3	19,8

Abweichungen in den Summen durch Rundungen

KA = keine Angaben

<sup>1)</sup> Ohne mobile Quellen in Land- und Forstwirtschaft; ohne Hochseefischerei. <sup>2)</sup> Einschl. mobiler Quellen in Land- und Forstwirtschaft.

<sup>3)</sup> Nicht in Gesamtemission enthalten; einschl. Hochseefischerei.

Quellen: BMU/UBA; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DIW.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in dieser Periode ausschließlich in den neuen Bundesländern zurückgegangen, wo sie 1995 um 133 Mill. t oder um fast 44 % niedriger ausfielen als 1990. Demgegenüber waren sie in den alten Bundesländern im Jahre 1995 um reichlich 13 Mill. t oder um knapp 2 % höher als im Bezugsjahr. Mengenmäßig hat sich in Deutschland insgesamt vor allem der Emissionsrückgang im Energiesektor (-66,2 Mill. t), in der Industrie (-42,9 Mill. t) sowie bei den sog. Kleinverbrauchern

<sup>4</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

(-18,9 Mill. t) niedergeschlagen. Im Unterschied dazu waren die Emissionen im Jahre 1995 im Verkehrssektor um 12,1 Mill. t oder um nahezu 8 % sowie bei den privaten Haushalten um 6,8 Mill. t oder um reichlich 5 % höher als 1990. Insbesondere bei den privaten Haushalten, bei denen der Energieeinsatz zur Raumwärme dominiert, dürfte die im Vergleich der beiden Jahre zuletzt (um rund 10 %) kühlere Witterung wesentlich zu diesem Emissionsanstieg beigetragen haben. Generell gilt, daß der Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen insgesamt *temperaturbereinigt* wohl noch etwas stärker gewesen ist.

Ein ähnliches Bild wie bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigt sich bei den Veränderungen des sektoralen Energieverbrauchs in den beiden Teilen Deutschlands (Tabelle 2): Während der Primärenergieverbrauch in den alten Bundesländern im Jahre 1995 um fast 5 % höher war als 1990, fiel er in den neuen Bundesländern immerhin um knapp 36 % niedriger aus.

Tabelle 2

**Veränderungen des Energieverbrauchs in Deutschland  
von 1990 bis 1995 nach Sektoren und Energieträgern**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer		Deutschland		Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Deutschland
	1990	1995 <sup>1)</sup>	1990	1995 <sup>1)</sup>	1990	1995 <sup>1)</sup>	Veränderungen 1990/1995		
	Pelajoule						%		
Primärenergieverbrauch <sup>2)</sup>	11505	12070	3290	2122	14795	14191	4,9	-35,5	-4,1
Verbrauch und Verluste im Energiesektor <sup>2)</sup>	3285	3377	1111	638	4396	4015	2,8	-42,6	-8,7
Nichtenergetischer Verbrauch	790	841	168	138	958	979	6,5	-17,9	2,2
Endenergieverbrauch	7429	7852	2012	1346	9441	9198	5,7	-33,1	-2,6
Übr. Bergbau und verarb. Gewerbe	2252	2181	725	296	2977	2477	-3,2	-59,2	-16,8
Verkehr	2091	2210	288	375	2379	2585	5,7	30,3	8,7
Haushalte und Kleinverbraucher	3002	3420	944	672	3946	4092	13,9	-28,8	3,7
Haushalte	1881	2277	522	420	2383	2697	22,3	-19,5	13,2
Kleinverbraucher	1141	1144	422	252	1563	1395	0,2	-40,3	-10,7
Militärische Dienststellen	84	41	55	3	139	44	-51,0	-94,4	-68,2
Steinkohlen	2169	1986	137	75	2306	2060	-8,5	-45,5	-10,7
Braunkohlen	940	928	2261	804	3201	1732	-1,2	-64,5	-45,9
Mineralöle	4718	4927	520	763	5238	5690	4,4	46,8	8,6
Erdgas, Erdöl	2012	2342	281	472	2293	2814	16,4	67,9	22,7
Kernenergie	1383	1470	63	0	1446	1470	6,3	-100,0	1,6
Wasserkraft, Außenhandelsstrom <sup>3)</sup>	140	247	22	-4	162	243	76,4	-	49,9
Sonstige Energieträger	144	171	6	12	150	183	19,2	93,0	22,2
Primärenergieverbrauch	11505	12070	3290	2122	14795	14191	4,9	-35,5	-4,1

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.  
<sup>1)</sup> Vorläufige Angaben. <sup>2)</sup> Primärenergetische Bewertung von Kernenergie, Wasser- und Windkraft, Stromerzeugung aus Müll u.ä. sowie Stromaußenhandel auf Basis der Substitutionsmethode. <sup>3)</sup> Einschließlich statistische Differenzen. <sup>4)</sup> Einschließlich Windenergie.  
 Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DIW.

Besonders stark ging in Ostdeutschland der Energieverbrauch in der Industrie (-59 %), im Energie- und Umwandlungssektor (-43 %) sowie bei den Kleinverbrauchern (-40 %) zurück - überwiegend also bei den eher gewerblichen Sektoren, die von dem wirtschaftlichen Einbruch vor allem betroffen waren.

Anders als in den alten Bundesländern hat sich in Ostdeutschland die Struktur des Energieträgereinsatzes im bisherigen Verlauf der neunziger Jahre grundlegend geändert, und zwar zugunsten emissionsärmerer Energieträger. So ging im Zuge des Strukturwandlungsprozesses der Verbrauch der besonders emissionsintensiven Braunkohlen von 1990 bis 1995 um nahezu zwei Drittel zurück, und der Anteil dieses Energieträgers am gesamten Primärenergieverbrauch fiel von 69 % auf nur noch 38 % im Jahre 1995. Dagegen sind insbesondere die Versorgungsbeiträge der Naturgase und des Mineralöls kräftig gestiegen. Die Kernkraftwerke wurden aus sicherheitstechnischen Gründen stillgelegt.

Die Veränderungen von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen sind auch vor dem Hintergrund der gesamtwirtschaftlichen und demographischen Entwicklung zu interpretieren (vgl. Tabellen 3 und 4):

- In Ostdeutschland kam es vor allem in Jahren 1990 und 1991 zu einem geradezu dramatischen Rückgang der Wirtschaftsleistung: So war das (inflationsbereinigte, also reale) Bruttoinlandsprodukt 1991 um rund ein Drittel niedriger als 1989, und im verarbeitenden Gewerbe sank die Bruttowertschöpfung um reichlich 63 %. Von den sich öffnenden Märkten in Ostdeutschland profitierte aber die Wirtschaft in den alten Bundesländern gerade Anfang der neunziger Jahre: Das Bruttoinlandsprodukt wuchs hier - jeweils bezogen auf das Vorjahr - 1990 um 5,7 % und 1991 um 5,0 %.
- Anders als in den alten Bundesländern kam es nach 1991 in den neuen Bundesländern zu einem kräftigen Wirtschaftswachstum, das im wesentlichen vom Baugewerbe und den Dienstleistungsunternehmen getragen wurde. Auch das verarbeitende Gewerbe zeigte recht hohe Zuwachsraten; allerdings fiel dieser Sektor weit hinter seine ehemalige Bedeutung in der DDR zurück. Sein Anteil an der gesamten (unbereinigten) Bruttowertschöpfung betrug 1995 nur noch knapp 19 %; 1989 war es noch beinahe ein Drittel. Damit ist das Gewicht des verarbeitenden Gewerbes in Ostdeutschland inzwischen deutlich niedriger als in Westdeutschland (1995: 27 %). Insgesamt ist die gesamtwirtschaftliche Struktur in Ostdeutschland weniger energieintensiv geworden.
- Bezogen auf die Periode 1990 bis 1995 ist die gesamtwirtschaftliche Leistung in Gesamtdeutschland um fast ein Zehntel gewachsen (in den alten Bundesländern um 9,1 % und in den neuen Bundesländern um 7,2 %).
- Die Zahl der Einwohner hat sich in Deutschland von 1990 bis Ende 1995 um fast 2,5 Mill. Menschen vergrößert, wobei einem Zuwachs von 3,1 Mill. Menschen in Westdeutschland ein Rückgang von reichlich 0,6 Mill. Menschen in Ostdeutschland gegenüberstand.

Tabelle 3:

**Veränderungen des Bruttoinlandsproduktes und der Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen in den alten und neuen Bundesländern von 1990 bis 1995**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Veränderungen gegenüber dem jeweiligen Vorjahr in % <sup>1)</sup>						
<b>Alte Bundesländer</b>						
Land- und Forstwirtschaft	4,2	-6,5	21,4	-8,3	-1,9	2,0
Produzierendes Gewerbe	4,7	3,5	-1,9	-7,0	2,2	0,2
Verarbeitendes Gewerbe	5,5	3,7	-2,7	-8,0	2,3	0,5
Baugewerbe	3,3	0,3	2,4	-3,8	3,2	-1,9
Handel und Verkehr	7,8	8,7	1,9	-1,5	0,1	1,6
Dienstleistungsunternehmen	7,2	6,4	5,0	4,1	4,0	4,2
Staat	1,6	1,7	2,1	0,8	0,5	0,3
Priv. HH, priv. Org. o. Erw.	4,1	4,5	4,5	2,8	3,3	2,5
Alle Wirtschaftszweige (unber.)	5,5	4,8	1,7	-1,5	2,3	1,9
Bruttoinlandsprodukt	5,7	5,0	1,8	-1,8	2,4	1,6
<b>Neue Bundesländer</b>						
Land- und Forstwirtschaft	-10,1	-33,5	-3,6	9,4	-13,6	12,2
Produzierendes Gewerbe	-22,4	-32,0	9,7	9,0	14,8	5,8
Verarbeitendes Gewerbe	-31,1	-46,8	6,1	12,2	13,7	8,2
Baugewerbe	-2,1	-7,2	31,4	10,5	22,8	7,3
Handel und Verkehr	-19,8	-36,6	6,1	10,5	7,4	4,1
Dienstleistungsunternehmen	-5,5	49,2	16,6	3,9	8,8	6,9
Staat	0,3	-3,5	-2,6	2,6	-2,9	3,3
Priv. HH, priv. Org. o. Erw.	-1,3	38,3	15,9	3,8	15,0	9,2
Alle Wirtschaftszweige (unber.)	-15,6	-16,4	7,7	6,6	8,1	5,7
Bruttoinlandsprodukt	-16,2	-19,0	7,8	7,2	8,5	5,6
<b>Deutschland</b>						
Land- und Forstwirtschaft	0,6	-12,5	17,2	-5,8	-3,8	3,5
Produzierendes Gewerbe	1,1	-0,2	-1,1	-5,7	3,3	0,8
Verarbeitendes Gewerbe	1,2	-0,3	-2,4	-7,1	2,9	1,0
Baugewerbe	2,4	-0,9	6,8	-1,1	7,2	0,3
Handel und Verkehr	3,7	3,5	2,2	-0,6	0,7	1,9
Dienstleistungsunternehmen	6,6	8,1	5,6	4,1	4,3	4,4
Staat	1,4	0,9	1,5	1,0	0,1	0,7
Priv. HH, priv. Org. o. Erw.	3,8	6,5	5,3	2,9	4,2	3,1
Alle Wirtschaftszweige (unber.)	3,1	2,8	2,2	-0,9	2,8	2,2
Bruttoinlandsprodukt	3,2	2,8	2,2	-1,2	2,9	1,9

<sup>1)</sup> Bruttowertschöpfung und Bruttoinlandsprodukt zu Preisen von 1991.

Quellen: Statistisches Bundesamt; DIW.

Hervorzuheben ist, daß sich vor allem in Ostdeutschland der spezifische Energieverbrauch wie die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 1995 stark vermindert haben:

- Der Pro-Kopf-Primärenergieverbrauch ist in den neuen Bundesländern um ein Drittel gesunken; im Jahre 1995 war er mit 137 GJ um ein Viertel niedriger als in den alten Bundesländern, wo er von 1990 bis 1995 praktisch unverändert blieb. In Deutschland insgesamt ging der Primärenergieverbrauch je Einwohner um 7 % zurück.
- Die Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen haben sich in Deutschland um 14 % vermindert; in Ostdeutschland betrug die Reduktion 41 % und in Westdeutschland 3 %. Trotz differierender Energieträgerstrukturen bestanden zuletzt kaum noch Unterschiede bei den Pro-Kopf-Emissionen zwischen den alten und neuen Bundesländern.



- Bezogen auf das reale Bruttoinlandsprodukt ist der Primärenergieverbrauch in Deutschland um 12 % gefallen; in Ostdeutschland waren es 40 %, dagegen in Westdeutschland nur 4 %.
- Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit realen Bruttoinlandsproduktes waren im Jahre 1995 in den neuen Bundesländern sogar um reichlich 47 % niedriger als 1990, im Vergleich zu einem Minus von knapp 7 % in den alten Bundesländern.

Tabelle 4:

**Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung sowie spezifische Energieverbrauchs- und Emissionswerte in Deutschland 1990 und 1995**

	Absolutwerte		Änderung von 1990 bis 1995
	1990	1995	
<b>Einwohner<sup>1)</sup></b>	1 000		%
Alte Bundesländer	63254	66342	4,9
Neue Bundesländer	16111	15476	-3,9
Deutschland	79365	81818	3,1
<b>Bruttoinlandsprodukt (BIP)</b>	Mrd. DM zu Preisen von 1991		%
Alte Bundesländer	2520,4	2750,1	9,1
Neue Bundesländer	254,4	272,7	7,2
Deutschland	2774,8	3022,8	8,9
<b>Pro-Kopf-PEV</b>	GJ je Einwohner		%
Alte Bundesländer	182	182	0,0
Neue Bundesländer	204	137	-32,9
Deutschland	186	173	-7,0
<b>Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	t CO <sub>2</sub> je Einwohner		%
Alte Bundesländer	11,2	10,9	-2,9
Neue Bundesländer	19,0	11,1	-41,3
Deutschland	12,8	10,9	-14,4
<b>PEV je Einheit BIP</b>	kJ je DM BIP zu Preisen von 1991		%
Alte Bundesländer	4565	4389	-3,9
Neue Bundesländer	12934	7780	-39,9
Deutschland	5332	4695	-12,0
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit BIP</b>	in t CO <sub>2</sub> je Mill. DM BIP zu Preisen von 1991		%
Alte Bundesländer	281	263	-6,6
Neue Bundesländer	1200	632	-47,4
Deutschland	365	296	-19,0

<sup>1)</sup> 1990 Stand am 3.10.; 1995 Stand am 31.12.

PEV = Primärenergieverbrauch

Quellen: Statistisches Bundesamt; UBA; AG Energiebilanzen; Berechnungen des DIW.

Insgesamt haben sich also die gesamtwirtschaftliche Energie- und Emissionsintensität in Deutschland in der ersten Hälfte der neunziger Jahre erheblich reduziert. Obwohl beide Kennziffern in Ostdeutschland besonders stark gesunken sind, fallen sie nach wie vor deutlich höher aus als in Westdeutschland, denn immerhin wurden 1995 die dortige Energieintensität (Primärenergieverbrauch je Einheit reales Bruttoinlandsprodukt) noch um fast 80 % und die dortige Emissionsintensität (CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit reales Bruttoinlandsprodukt) um nahezu 140 % übertroffen. Dies deutet auf nach wie vor existierende große Rationalisierungspotentiale hin, bei deren Nutzung selbst ein kräftiges

wirtschaftliches Wachstum in Ostdeutschland in den kommenden Jahren nicht zu einem steigenden Energieverbrauch und wieder zunehmenden CO<sub>2</sub>-Emissionen führen muß.

#### *Erwartungen zur CO<sub>2</sub>-Entwicklung in ausgewählten Studien*

Dafür sprechen auch die Ergebnisse aktueller Energieprognosen und -szenarien<sup>5</sup>, und zwar unabhängig von den teilweise gravierenden Unterschieden bei den Zielen, Methoden und Annahmen über die künftige gesamtwirtschaftliche und demographische Entwicklung (vgl. Tabelle 5). So wurden den IKARUS-Modellrechnungen für Deutschland insgesamt noch ein gesamtwirtschaftliches Wachstum in der Periode von 1990 bis 2005 von jahresdurchschnittlich 3,4 % (Westdeutschland: 3,1 %/a; Ostdeutschland: 6,4 %/a) und eine Bevölkerung von 81 Mill. im Jahr 2005 zugrundegelegt, während die aktuellste Schätzung von RWI/Ifo für diesen Zeitraum ein Wirtschaftswachstum von lediglich 1,8 %/a, aber eine Bevölkerungszahl von etwa 84 Mill. im Jahre 2005 unterstellt. Tendenziell schätzen die jüngeren Prognosen das gesamtwirtschaftliche Wachstum eher schwächer, aber die Bevölkerungsentwicklung eher expansiver ein. Vor allem für Westdeutschland wird bis zum Jahre 2005 - aufgrund entsprechender Wanderungsgewinne - eine kräftige Zunahme der Einwohnerzahlen erwartet.

Trotz der damit verbundenen energieverbrauchssteigernden Einflüsse wird erwartet, daß der Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahre 2005 niedriger sein wird als 1990. Dies gilt auch für die Kohlendioxidemissionen, die nach den hier ausgewählten Studien in Deutschland im Jahre 2005 mehr oder weniger deutlich - nämlich um etwa 8 bis fast 19 % - niedriger ausfallen dürften als 1990 (Tabelle 6).

<sup>5</sup> Es werden folgende Arbeiten berücksichtigt: PROGNOSE AG: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft. Basel, 23. Oktober 1995; ENERGIEPROGNOSE ESSO: Moderne Heizung - aktiver Klimaschutz. Stand: Dezember 1995. Hamburg 1996; ENERGIEPROGNOSE ESSO: Industrie verbraucht weniger Energie. Stand: November 1996. Hamburg 1996; FERI Deutschland Prognose Energie. Ökostudie Dezember 1995; Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages: Mehr Zukunft für die Erde. Bonn, 1995; Vgl. Hillebrand, B. et al: Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien. In: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19. Essen 1996 (hier zitiert als RWI/Ifo-Studie); IKARUS-Projekt.

Tabelle 5:

**Annahmen zur gesamtwirtschaftlichen und demographischen Entwicklung  
in Deutschland von 1990 bis 2005 in ausgewählten Studien**

Studien	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Deutschland
gesamtwirtschaftliches Wachstum 1990/2005 in % pro Jahr			
ESSO (1996)*	kA	kA	2,0
RWI/Ifo (1996)	1,6	3,6	1,8
FERI (1995)	1,7	3,4	1,9
ESSO (1995)*	2,0	4,3	2,2
PROGNOS (1995)	2,0	5,2	2,4
Enquete-Kommission (1994)	2,1	5,3	2,5
IKARUS (1991)	3,1	6,4	3,4
Bevölkerung im Jahre 2005 in Mill.			
ESSO (1996)*	kA	kA	82,3
RWI/Ifo (1996)	68,5	15,3	83,8
FERI (1995)	67,1	15,2	82,3
ESSO (1995)*	67,4	15,2	82,6
PROGNOS (1995)	67,8	14,3	82,1
Enquete-Kommission (1994)	67,2	13,9	81,1
IKARUS (1991)	65,8	15,2	81,0
Zum Vergleich: Ist-1990**	63,3	16,1	79,4

\*) Angaben für 2005 interpoliert. - \*\*) Am 3.10.1990.

Tabelle 6:

**Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland  
von 1990 bis 2005 in ausgewählten Studien**

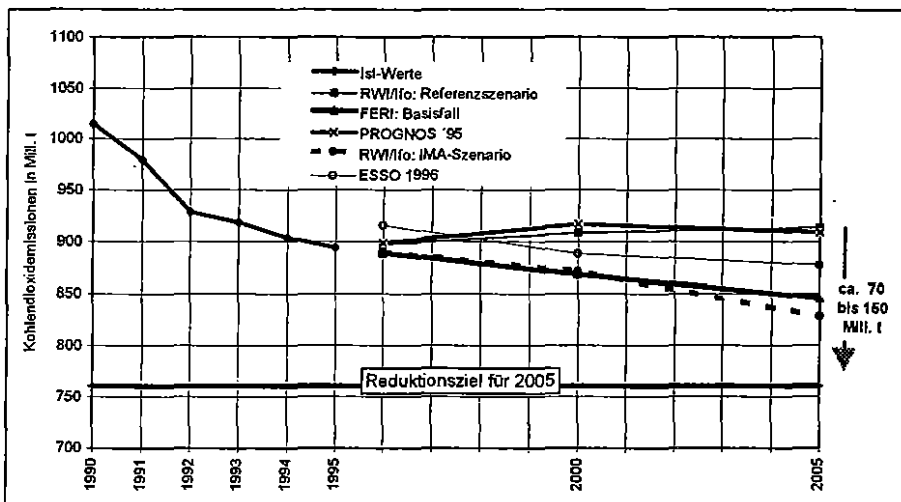
Studien	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Deutschland	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Deutschland
	Primärenergieverbrauch <sup>1)</sup> im Jahre 2005 (Mill. t SKE)			Veränderungen 1990/2005 in % <sup>2)</sup>		
ESSO (1996) <sup>3)</sup>	kA	kA	484,0	kA	kA	-4,1
IKARUS: Referenz (1996)	377,4	70,7	448,1	-3,8	-37,1	-11,2
RWI/Ifo-Referenzszenario (1996)	410,7	74,9	485,6	4,7	-33,3	-3,7
RWI/Ifo-IMA-Szenario (1996)	kA	kA	445,0	kA	kA	-17,0
FERI-Basisfall (1995)	377,1	73,5	450,6	-3,8	-34,6	-10,7
ESSO (1995) <sup>2)</sup>	411,0	81,0	492,0	4,8	-27,9	-2,5
PROGNOS (1995)	418,8	76,0	494,8	6,8	-32,3	-1,9
Enquete-Kommission (1994)	407,8	83,0	490,9	4,0	-26,1	-2,7
z.Vgl.: Ist 1990 <sup>4)</sup>	392,2	112,3	504,5			
Ist 1995 (vorläufig)	411,8	72,4	484,2			
Kohlendioxidemissionen im Jahre 2005 (Mill. t)				Veränderungen 1990/2005 in % <sup>2)</sup>		
ESSO (1996)	kA	kA	877,0	kA	kA	-13,5
IKARUS: Referenz (1996)	664,0	162,0	826,0	-6,3	-47,0	-18,6
RWI/Ifo-Referenzszenario (1996)	736,1	177,7	913,8	4,1	-38,8	-8,4
RWI/Ifo-IMA-Szenario (1996)	.	.	828,1	.	.	-17,0
FERI-Basisfall (1995)	686,5	159,2	845,7	-5,6	-41,2	-15,3
ESSO (1995) <sup>2)</sup>	.	.	885,0	.	.	-13,0
PROGNOS (1995)	733,0	176,0	909,0	1,2	-33,8	-8,2
Enquete-Kommission (1994)	723,3	184,2	907,5	3,2	-35,1	-7,8
z.Vgl.: Ist 1990 <sup>4)</sup>	708,8	305,4	1014,2			
Ist 1995 (vorläufig)	722,1	172,3	894,5			

<sup>1)</sup> Primärenergieverbrauch nach der Substitutionsmethode bewertet. - <sup>2)</sup> Veränderungen jeweils bezogen auf den Istwert 1990 (vgl. Fußnote 4!). - <sup>3)</sup> Angaben für 2005 interpoliert. - <sup>4)</sup> Basisdaten bei den ausgewählten Studien z.T. mit (unterschiedlich) abweichenden Werten vom Ist-Wert.

Übereinstimmend lassen die vorliegenden Prognosen und Szenarien damit aber auch den Schluß zu, daß ohne besondere *zusätzliche* Anstrengungen das von der Bundesregierung gesetzte Reduktionsziel bis zum Jahre 2005 nicht erreicht würde. Dies zeigt auch Abbildung 1, in der diesem Ziel die bis dahin vorausgeschätzte Emissionsentwicklung gegenübergestellt ist. Im Jahre 2005 klappt zwischen dem Ziel und den Szenariowerten immerhin eine Lücke in einer Größenordnung von 70 bis 150 Mill. t CO<sub>2</sub>. Beispielsweise würde nach der jüngsten ESSO Energieprognose vom November 1996 das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel im Jahre 2005 um 116 Mill. t verfehlt.

Abbildung 1:

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 1995  
sowie nach ausgewählten Prognosen/Szenarien bis 2005**



#### *Ergebnisse der RWI/Ifo-Studie*

Besonders deutlich läßt die aktuelle Studie von RWI/Ifo<sup>6</sup>, bei der der Großteil der von der Bundesregierung in ihrem ersten Nationalbericht genannten Maßnahmen Eingang in die quantitative Formulierung von CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenarien gefunden hat, die Notwendigkeit zusätzlicher Klimaschutzpolitischer Aktivitäten erkennen, um das Reduktionsziel zu erreichen.

<sup>6</sup> Hillebrand, B. et al, a.a.O.

So sind schon in dem von RWI/Ifo untersuchten *Referenz-Szenario* alle bis zum Beginn der Untersuchung in Kraft getretenen Maßnahmen berücksichtigt worden. Nach den Ergebnissen dieses Szenarios wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland im Jahre 2005 lediglich um 8,4 % niedriger als 1990. Die im Referenz-Szenario nicht berücksichtigten, inzwischen aber vielfach umgesetzten - teilweise freilich erst noch geplanten - Maßnahmen zum Klimaschutz lassen jedoch eine erheblich stärkere Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen erwarten.

RWI/Ifo haben dies in einem sog. *IMA-Szenario* abgebildet. Nach diesem Szenario dürften sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005 gegenüber dem Referenz-Szenario um weitere reichlich 85 Mill. t CO<sub>2</sub> vermindern. Bezogen auf 1990 würde dies eine Minderung um fast 170 Mill. t oder 17 % bedeuten. Bei einer Bewertung dieses Ergebnisses ist allerdings zu beachten, daß darin auch Maßnahmen einfließen, die noch nicht umgesetzt sind. Unter der Voraussetzung aber, daß nur diejenigen Maßnahmen berücksichtigt werden, die gegenwärtig von der Bundesregierung auch tatsächlich umgesetzt worden sind, ist das RWI in einer Sonderrechnung zu dem Ergebnis gekommen, daß sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2005 nur um 14,8 % gegenüber 1990 verringern würden.<sup>7</sup>

Im Vergleich zum Referenz-Szenario werden im IMA-Szenario die mengenmäßig bedeutendsten Emissionsminderungen bei den Kraftwerken erreicht; es folgen die Industrie, die Kleinverbraucher sowie der Personenverkehr und die privaten Haushalte. Zu den wirksamsten Maßnahmen werden von RWI/Ifo die Selbstverpflichtungserklärungen der deutschen Wirtschaft vom März 1996 sowie (alternativ) die ursprünglich vorgesehene Wärmenutzungsverordnung, die Einführung von Verbrauchsstandards für Personenverkehrsfahrzeuge sowie die Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung gerechnet. Die (ohnehin noch nicht umgesetzte) CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer in der von der EU-Kommission vorgesehenen Höhe und Ausgestaltung schlägt dagegen nur begrenzt zu Buche.

Wesentlich ist das Ergebnis der RWI/Ifo-Untersuchung, daß auch unter den Voraussetzungen des IMA-Szenarios das von der Bundesregierung verfolgte Ziel verfehlt wird. Nach den Überlegungen von RWI/Ifo läßt sich das Reduktionsziel nur erreichen, wenn

---

<sup>7</sup> Persönliche Mitteilung von Hillebrand, RWI.

dazu weitere Maßnahmen ergriffen werden. In dem dafür entwickelten sog. *Enquete-Szenario* beschränken sich die beiden Institute allerdings auf lediglich zwei Handlungsfelder, nämlich auf den forcierten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und die Verbesserung des Wärmeschutzes im Gebäudebestand. Während hinsichtlich der politischen Maßnahmen zur Ausschöpfung der vorhandenen Kraft-Wärme-Kopplungspotentiale keine näheren Aussagen getroffen werden, sollen die Reduktionspotentiale im Gebäudebestand mit Hilfe ordnungsrechtlicher Eingriffe, nämlich durch eine generelle Anwendung der (verschärften) Wärmeschutzverordnung auf den *gesamten Gebäudebestand*, erschlossen werden. Über das IMA-Szenario hinausgehende Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in anderen Handlungsfeldern, vor allem im Verkehrssektor, werden dort dagegen nicht diskutiert.

Im Ergebnis würden sich in diesem Enquete-Szenario die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem IMA-Szenario zusätzlich um knapp 80 Mill. t vermindern, so daß insgesamt das Reduktionsziel der Bundesregierung verwirklicht werden könnte. Allerdings dürften die dazu notwendigen Voraussetzungen nicht geschaffen werden können. Insbesondere die nachträgliche Wärmedämmung des gesamten Altbaubestandes, für die nur noch 9 Jahre (1997 bis 2005) zur Verfügung stehen würden, kommt nach den Aussagen von RWI/Ifo selbst als realistische Maßnahme kaum in Betracht. Es wird aber darauf verwiesen, daß ohne diese Maßnahme das Reduktionsziel bis 2005 nicht zu erreichen sei. Daraus ziehen RWI/Ifo den Schluß, daß „eine zeitliche Streckung des Minderungszieles verbunden mit einer langfristigen Klimaschutzstrategie kein Tabu sein (sollte)“<sup>8</sup>

Diese Schlußfolgerung beruht allerdings auf einer zu engen Spezifizierung des sog. Enquete-Szenarios. Angesichts seiner im wesentlichen einseitigen Ausrichtung kann dieses Szenario schon vom Ansatz her nicht als eine realistische - und damit politisch handlungsleitende und umsetzungsfähige - Strategie für die angestrebte Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen angesehen werden.

Die Ergebnisse aller drei von RWI/Ifo beschriebenen Szenarien gehen zusammenfassend aus Tabelle 7 hervor.

---

<sup>8</sup> Hillebrand, B. et al, a.a.O., S. 132.

Tabelle 7:

**Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland  
von 1990 bis 2005 in den RWI/Ifo-Szenarien**

	Ist 1990 <sup>1)</sup>	Referenz-	IMA-	Enquete-	Referenz-	IMA-	Enquete-
	Szenario 2005				Szenario 2005		
	Kohlendioxidemissionen in Mill. t				Änderungen gegenüber 1990 in %		
Kraftwerke	369,0	343,2	315,6	278,1	-7,0	-14,5	-24,6
Kraft-Wärme-Kopplung <sup>2)</sup>	38,6	34,2	36,7	36,7	-11,4	-4,9	-4,9
Übrige Umwandlung	38,9	18,7	16,0	16,0	-51,9	-58,9	-58,9
Industrie	168,8	116,6	100,3	113,7	-30,9	-40,6	-32,6
Güterverkehr	38,1	51,1	49,2	49,2	34,1	29,1	29,1
Personenverkehr	121,7	148,9	135,1	135,1	22,4	11,0	11,0
Summe Verkehr	159,8	200,0	184,3	184,3	25,2	15,3	15,3
Kleinverbrauch	74,2	63,2	48,2	29,1	-14,8	-35,0	-60,8
Private Haushalte	130,4	126,2	115,6	79,4	-3,2	-11,3	-39,1
Hochseebunkerungen	8,0	6,0	6,0	6,0	-25,0	-25,0	-25,0
militärische Dienststellen	9,7	5,4	5,4	5,4	-44,3	-44,3	-44,3
Insgesamt	997,4	913,8	828,1	748,7	-8,4	-17,0	-24,9
	Änderungen gegenüber 1990 in Mill. t				Änderungen 2005 gegenüber Referenz-Szenario in Mill. t		
Kraftwerke	-25,8	-53,4	-90,9	0,0	0,0	-27,6	-65,1
Kraft-Wärme-Kopplung <sup>2)</sup>	-4,4	-1,9	-1,9	0,0	0,0	2,5	2,5
Übrige Umwandlung	-20,2	-22,9	-22,9	0,0	0,0	-2,7	-2,7
Industrie	-52,2	-68,5	-55,1	0,0	0,0	-16,3	-2,9
Güterverkehr	13,0	11,1	11,1	0,0	0,0	-1,9	-1,9
Personenverkehr	27,2	13,4	13,4	0,0	0,0	-13,8	-13,8
Summe Verkehr	40,2	24,5	24,5	0,0	0,0	-15,7	-15,7
Kleinverbrauch	-11,0	-26,0	-45,1	0,0	0,0	-15,0	-34,1
Private Haushalte	-4,2	-14,8	-51,0	0,0	0,0	-10,6	-46,8
Hochseebunkerungen	-2,0	-2,0	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
militärische Dienststellen	-4,3	-4,3	-4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Insgesamt	-83,6	-169,3	-248,7	0,0	0,0	-85,7	-165,1

<sup>1)</sup> Basiswerte nach RWI/Ifo. <sup>2)</sup> Einschließlich Heizwerke.

Quelle: Hillebrand, B. et al, 1996.

Soll das Ziel der Bundesregierung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2005 gegenüber 1990 um 25 % zu senken, weiterhin verwirklicht werden, sind die grundlegenden Annahmen über den Handlungsspielraum der Energie- und Umweltpolitik zu überdenken. Das Enquete-Szenario liefert dazu indes keine weiterführenden Hinweise.

## 2 Überblick über die Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland<sup>9</sup>

Im folgenden soll ein Überblick über die Maßnahmen gegeben werden, die von der Bundesregierung in ihrem ersten Bericht nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen aufgeführt worden sind.<sup>10</sup> Die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Minderungswirkungen dieser Maßnahmen waren ein Schwerpunkt der hier vorgelegten Untersuchung.

Zu den im Nationalbericht genannten 109 Maßnahmen sind inzwischen einige weitere Maßnahmen hinzugekommen, darunter - als die wohl bedeutsamste - die Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft vom 27. März 1996. Andererseits sind einige Maßnahmen, die noch im Nationalbericht aufgeführt worden waren, inzwischen zurückgestellt bzw. nicht weiter verfolgt worden. Dies gilt vor dem Hintergrund der Selbstverpflichtungserklärung beispielsweise für die Einführung einer alle Sektoren (also auch die an der Selbstverpflichtung beteiligten Branchen) betreffenden CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer oder die Verabschiedung einer Wärmenutzungsverordnung.

In Übersicht 1 werden die von der Bundesregierung genannten Maßnahmen zusammenfassend dargestellt. Die Maßnahmen mit den Nummern 1 bis 109 sind im o.g. ersten Nationalbericht der Bundesregierung aufgelistet; zum Zeitpunkt der Berichterstattung waren die Maßnahmen 1 bis 88 bereits beschlossen und umgesetzt, während die Maßnahmen 89 bis 109 vorbereitet wurden oder vorgesehen waren. Die Maßnahmen 110 bis 116 sind nach Vorlage des ersten Nationalberichts zusätzlich ergriffen worden. Dazu werden auch die Selbstverpflichtungserklärungen der deutschen Wirtschaft gezählt, die ohne die Initiativen der Bundesregierung kaum zustande gekommen wären.

Dieser Maßnahmenkatalog wird in der Übersicht vorrangig unter dem Aspekt der Bearbeitungstiefe durch die Gutachter charakterisiert. Dabei wird nach den Merkmalen „nicht bearbeitet“, „qualitativ behandelt“, „z.T. quantifiziert“ sowie „quantifiziert“ unterschieden.

<sup>9</sup> Dieses Kapitel wurde vom federführend DIW bearbeitet.

<sup>10</sup> Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland ..., a.a.O.



## Übersicht 1:

**Bearbeitungstiefe der von der Bundesregierung im ersten Nationalbericht  
genannten Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen  
von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen**

Lfd.- Nr.	Maßnahme	Zielbetrag bis 2005 (an jeweiliger Maßnahme orientiert)	Die Maßnahme wird			
			nicht bear- beitet	quali- tativ behand- elt	z.T. quantifi- ziert	quan- tifiziert
1	Bundestanfordernng Elektrizität	gering		x		
2	Unterstützung örtlicher und regionaler Energieversorgungs- und Klimaschutzkonzepte	gering		x		
3	Stromeinspeisungsgesetz	mittel				x
4	Leuchtmittelsteuer (abgeschafft)	gering	x			
5	Bund/Länder-Fernwärme-Sanierungs-Programm im Gebiet der ehem. DDR	hoch				x
6	Förderung erneuerbarer Energien	gering				x
7	ERP-Energiesparprogramm	mittel			x	
8	Förderung von Unternehmensberatungen in kleinen und mittleren Unternehmen - Energiesparberatung -	gering			x	
9	Unterstützung des Forums für Zukunftsenergien e.V.	gering	x			
10	Information über die Nutzung erneuerbarer Energien	gering		x		
11	Information über sparsame und rationelle Energieverwendung	gering		x		
12	4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4.BImSchV) (vereinfachte Zulassung für Windkraftanlagen)	gering		x		
13	Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung	gering				x
14	Erhöhung der Mineralölsteuer	hoch			x	
15	Emissionsbezogene Kfz-Steuer (1. Stufe)	hoch				x
16	Bundesverkehrswegeplan 1992	mittel				x
17	Steigerung der Attraktivität des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV)	mittel				x
18	Gaspedel-Verordnung (NMVOC) -20./ 21. BImSchV -	-				x <sup>1)</sup>
19	Forschungsprogramm Stadtverkehr (FOPS)	mittel				x
20	Verkehrsbeeinflussung durch Verstärkung des Verkehrsflusses	gering				x
21	Informationen zum energiesparenden und umweltfreundlichen Verkehrsverhalten	gering				x
22	Forschungsvorhaben und Information über Stadtverkehrsplanung und umweltschonenden Stadtverkehr	gering		x		
23	Strukturreform der Bahn	gering		x		
24	Güterverkehrszentren	gering				x
25	Kombi-Verkehre über Wasserstraßen	gering				x
26	Forschungsprogramm "Schadstoffe in der Luftfahrt"	gering				x
27	Verkehrsforschung	hoch		x		
28	Tarifaufhebungsgesetz	negativ				x
29	Novelle der Wärmeschutzverordnung (WSchV)	hoch				x
30	Novelle der Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnV)	hoch				x
31	Beratung der sparsamen und rationellen Energieverwendung in Wohngebäuden - Vor-Ort-Beratung -	gering				x
32	Fördergebietgesetz gemäß dem Steueränderungsgesetz 1991 vom 24.06.1991 und dem Standortsicherungsgesetz vom 13.09.1993	gering		x		
33	KfW-Wohnraummodernisierungsprogramm	hoch				x
34	Gemeinschaftswerk Aufschwung Ost	mittel				x
35	Förderung des Sozialen Wohnungsbaus (zunächst nur in Ost-, jetzt auch in Westdeutschland)	mittel				x
36	Experimenteller Wohnungs- und Städtebau ExWoSt-Forschungsfeld "Schadstoffminderung im Städtebau"	gering		x		
37	Investitions erleichterungs- und Wohnbaulandgesetz	gering		x		
38	Verminderung von Investitionshemmnissen im Wohnungsbau im Gebiet der ehemaligen DDR bei ungeklärten Eigentumsverhältnissen	gering		x		
39	Informationen für Bauherren, Architekten, Planer, Ingenieure, Handwerker (nur Ostdeutschland)	gering		x		

<sup>1)</sup> Maßnahme wird im Teilvorhaben 3 untersucht.

noch Übersicht 1:

**Bearbeitungstiefe der von der Bundesregierung im ersten Nationalbericht  
genannten Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen von  
CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen**

Lfd.- Nr.	Maßnahme	Zielbeitrag bis 2005 (an jeweiliger Maßnahme orientiert)	Die Maßnahme wird			
			nicht bear- beitet	quali- tativ behand- elt	z.T. quan- tifiziert	quan- tifiziert
40	Fachprogramm Umweltforschung und -technologie	gering		x		
41	Forschung und technische Weiterentwicklung der Kraftwerks- und Feuerungstechnik, insbesondere zur umweltfreundlichen Nutzung von Kohle	mittel		x		
42	Forschung und Entwicklung zu Gas- und Dampfturbinenkraftwerken	mittel		x		
43	Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energien	gering			x	
44	Förderprogramm Photovoltaik 1.000-Dächer-Programm	gering				x
45	Förderung der Erprobung von Windenergieanlagen "250 MW Wind"	gering				x
46	Programm "Solarthermie 2000"	gering				x
47	Forschung und Entwicklung zur Nutzung der Solartechnik	gering		x		
48	Forschung und Entwicklung zu Sekundärenergiesystemen, die im Systemverbund mit erneuerbaren Energien zum Einsatz kommen sollen	gering		x		
49	Forschung und Entwicklung zur rationellen Energieverwendung	mittel		x		
50	Kernenergieforschung /Reaktorsicherheitsforschung	gering	x			
51	Kernfusionsforschung	gering	x			
52	Forschung zur thermischen Abfallbehandlung	gering	x			
53	Modellversuch "Wärme- und Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen"	gering		x		
54	Geothermie	gering				x
55	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Kostenschutzes"	gering	x			
56	Flächenstilllegungsprämie	gering		x <sup>1)</sup>		
57	Verbesserung der stofflichen Verwertung in der Tierhaltung zur Minderung von Methan-Emissionen	gering		x <sup>1)</sup>		
58	Förderung von extensiven landwirtschaftlichen Produktionsweisen	gering		x <sup>1)</sup>		
59	Erhaltung bestehender Wälder (Aktionsprogramm "Rettet den Wald")	gering	x			
60	Förderung der Erlaufforstung	-	x			
61	Waldbauliche Maßnahmen	-	x			
62	Steuerbefreiung von reinem Rapsmethylester (RME)	gering		x		
63	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe	gering	x			
64	Düngerverordnung	gering			x <sup>1)</sup>	
65	Verpackungsverordnung	gering				x <sup>1)</sup>
66	Technische Anleitung Siedlungsabfall	gering				x <sup>1)</sup>
67	Technische Anleitung Abfall, Teil 1	gering				x <sup>1)</sup>
68	Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz	gering				x <sup>1)</sup>
69	Verbesserung der Aus- und Fortbildung von Architekten, Ingenieuren, Technikern, Handwerkern (vgl. 39)	gering			x	
70	Förderungsprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)	gering			x	
71	Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen	gering			x	
72	KfW-Umweltprogramm	gering			x	
73	DIA-Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank	gering			x	
74	Umweltschutzbürgschaftsprogramm: Haftungsfreistellung bei Ergänzungsdarlehen III zur Förderung von Herstellern präventiver Umweltschutztechnik	gering		x		
75	Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur"	gering	x			
76	Finanzielle Förderung der wirtschaftsnahen Infrastruktur im Gebiet der ehemaligen DDR - Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur bei der Förderung von kommunalen Infrastruktureinrichtungen	gering	x			
77	Beratung über sparsame und rationelle Energieverwendung durch die Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände (AgV) im Auftrag des BMVt	gering		x		
78	Förderung von Unternehmensberatung für kleine und mittlere Unternehmen: Umweltschutz- und Energieberatung	gering			x	
79	Orientierungsberatungen im Umweltschutz für kleine und mittlere Unternehmen (Gebiet der ehemaligen DDR)	gering			x	

<sup>1)</sup> Maßnahme wird im Teilvorhaben 3 untersucht.

noch Übersicht 1:

**Bearbeitungstiefe der von der Bundesregierung im ersten Nationalbericht  
genannten Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen  
von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen**

Lfd.- Nr.	Maßnahme	Zielbeitrag bis 2005 (an jeweiliger Maßnahme orientiert)	Die Maßnahme wird			
			nicht bear- beitet	quali- tativ behand- elt	z.T. quan- tifi- ziert	quan- tifi- ziert
80	Orientierungsberatungen im Umweltschutz für Kommunen im Gebiet der ehem. DDR	gering			x	
81	Kommunalkreditprogramm - Gebiet der ehemaligen DDR (Verbesserung der wirtschaftsnahen Infrastruktur)	gering			x	
82	ERP-Luftreinhaltungsprogramm (Lärm, Geruch, Erschütterung, umweltfreundliche Produktionsanlagen)	gering	x			
83	Fachinformation für rationelle Energieverwendung und den Einsatz erneuerbarer Energien	gering		x		
84	Studien zur Optimierung des CO <sub>2</sub> -Minderungsprogramms (IMA CO <sub>2</sub> -Reduktion)	gering	x			
85	Novelle der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI)	gering		x		
86	Forschung zu einzelnen instrumentellen Ansatzpunkten	gering	x			
87	Systemanalytische Arbeiten des IKARUS-Projektes	gering	x			
88	Umweltzeichen	gering			x	
89	Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG)	kA	x			
90	Vorlage einer Wärmenutzungsverordnung	mittel				x
91	Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer	hoch				x
92	Emissionsbezogene Kfz-Steuer (2. Stufe)	keine				x
93	Gebühren für die Benutzung bestimmter Straßen (Road-Pricing)	kA		x		
94	CO <sub>2</sub> -Emissionen bei neuen Kfz	hoch				x
95	Standortkonzeption der Deutschen Bahnen	mittel				x
96	Anwendung moderner Informationstechnik zur Vermeidung und Regulierung weiteren Verkehrsaufkommens (Telematik)	mittel				x
97	Besteuerung von Flugkraftstoffen	kA	x			
98	Änderung der gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien	gering			x	
99	Einführung einer Verkehrsauswirkungsprüfung	gering			x	
100	Verlagerung des internationalen Transitverkehrs von der Straße auf die Schiene und das Schiff	gering				x
101	2. Verordnung zur Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO (1. BImSchV)	mittel				x
102	Instrumente zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand	mittel		x		
103	Privilegierung der erneuerbaren Energien im Baugesetzbuch	gering		x		
104	Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien	gering		x		
105	Verbesserung der Rahmenbedingungen der beruflichen Ausbildung sowie Fort- und Weiterbildung	gering		x		
106	Förderung von Information über Drittfinanzierungsmodelle	gering			x	
107	Einführung einer zumindest EU-weiten aufkommens- und wettbewerbsneutralen CO <sub>2</sub> -/Energiesteuer	hoch		x		
108	Energieverbrauchs-Kennzeichnungsgesetz	gering		x		
109	Planung des Parlaments- und Regierungsviertels in Berlin nach umweltpolitischen Anforderungen, insbesondere auch im Hinblick auf den Klimaschutz	gering	x			
110 <sup>1)</sup>	Selbstverpflichtungen der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge	hoch				x
111 <sup>1)</sup>	Förderprogramm zur Energieeinsparung bei Altbauten in den alten Bundesländern (s. auch Nr. 102)	mittel				x
112 <sup>1)</sup>	Förderprogramm für erneuerbare Energien (s. auch Nr. 6)	gering				x
113 <sup>1)</sup>	Informationskampagne: Mensch ändere Dich - Klimaschutz geht jeden an (Logo, Broschüre, Infoline zum Nahtarif)	gering	x			
114 <sup>1)</sup>	Infobustour: Dialog mit dem Bürger vor Ort	gering	x			
115 <sup>1)</sup>	Ökuzulagen bei der Wohneigentumsförderung (Niedrigenergiehaus, Wärmepumpen, Solarkollektoren, Wärmerückgewinnung)	mittel				x
116 <sup>1)</sup>	Öko-Audit (Umweltmanagement)	gering			x	

<sup>1)</sup> Maßnahme nicht im ersten Nationalbericht genannt, erst nach Berichterstattung in Betracht gezogen.

kA = keine Angabe

Wie sich zeigt, werden zahlreiche Maßnahmen von vornherein aus der Bearbeitung ausgeschlossen. Gründe hierfür sind die in diesen Fällen zu vermutende geringe Wirksamkeit mit Blick auf die angestrebte Emissionsminderung sowie die teilweise für die Wirkungsanalyse nicht operationalisierbare Formulierung der jeweiligen Maßnahme.

Vielfach sind die aufgelisteten Maßnahmen in ihren Emissionswirkungen zwar nicht quantifizierbar, doch sollen sie dann zumindest qualitativ behandelt werden, wenn sie für die Emissionsreduzierung von wesentlicher Bedeutung sind. Generell soll sich die Quantifizierung vornehmlich auf solche Maßnahmen konzentrieren, von denen signifikante Reduktionswirkungen ausgehen dürften.

Die in Übersicht 1 genannten Maßnahmen der Bundesregierung betreffen neben den Emissionsminderungen beim CO<sub>2</sub> auch diejenigen anderer Treibhausgase, insbesondere von Methan, N<sub>2</sub>O und von nichtmethanhaltigen Kohlenwasserstoffen. Die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Emissionsentwicklung dieser Treibhausgase wurden zeitlich parallel (im Teilvorhaben 3) vom FhG-ISI und dem Öko-Institut (1997) analysiert.

Der größte Teil der in den vorstehenden Übersichten genannten Maßnahmen ist bereits vor geraumer Zeit beschlossen und insoweit in den aktuellen Prognosen (etwa von der Prognos AG oder der ESSO AG) - zumindest implizit - berücksichtigt worden. Wie der obenstehende Überblick über aktuelle Prognosen und Szenarien gezeigt hat, besteht aber eine weitgehende Übereinstimmung darin, daß die bisherigen Maßnahmen (einschließlich der Maßnahmen auf Landes- und Kommunalebene) allein noch nicht ausreichen, um das von der Bundesregierung gesetzte Ziel zu verwirklichen.

Deshalb sollen bei der weiteren Analyse auch diejenigen Maßnahmen im Vordergrund stehen, deren Wirkungen in den vorliegenden Prognosen noch *nicht* berücksichtigt werden konnten, sowie solche - zusätzlichen - Maßnahmen, die für eine Erreichung des definierten Emissionsreduktionszieles in Frage kommen könnten.

Zur Einschätzung des Zielerreichungsgrades kommt es deshalb vor allem auf die Wirkungen der von der Bundesregierung erst in jüngster Zeit verabschiedeten sowie von ihr weiterhin vorgesehenen Maßnahmen an. Die darüber hinausgehenden, zusätzlichen Maßnahmen, die zur Realisierung des von der Bundesregierung angestrebten Zieles eines

gegenüber 1990 bis zum Jahre 2005 um 25 % reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionsniveaus von den Gutachtern für denkbar und notwendig erachtet werden, sind in der Übersicht 1 nicht enthalten. Auf solche Maßnahmen soll in den folgenden Teilen gesondert eingegangen werden. Dem sollen einige grundsätzliche Überlegungen zu Methoden von Wirkungsanalysen vorangestellt werden.

### **3 Methoden der Wirkungsanalyse<sup>11</sup>**

#### **3.1 Vorbemerkung**

Die bisher vorliegenden nationalen Berichte nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen unterscheiden sich sehr stark sowohl hinsichtlich der genannten Maßnahmen als auch der Methoden zur Schätzung ihrer Wirkungen (Kunz, Holtrup 1996). Im ersten Bericht der Bundesregierung (s.o.) werden unterschiedliche Prognosen und Szenarien zitiert, die einen Teil der bereits wirksamen oder eingeleiteten Maßnahmen berücksichtigen. Die Bundesregierung macht sich allerdings „keine Aussage dieser Prognosen zu eigen“. Die Aussagefähigkeit von Prognosen und Szenarien sei allgemein dadurch eingeschränkt, daß sie stets lediglich als bedingte Vorhersagen zu verstehen sind. Außerdem weist die Bundesregierung auf methodische Grenzen einer Schätzung künftiger Wirkungen von politischen Maßnahmen hin und betont, „daß sich die künftigen Effekte bestimmter Maßnahmen selbst mit dem methodisch ausgeklügelsten Instrumentarium nicht abschätzen lassen.“ Ferner sei zu beachten, „daß Interdependenzen zwischen den einzelnen Maßnahmen dazu führen, daß die Summe in der Regel mehr ergibt als die Addition der Wirkungen von Einzelelementen.“ Andererseits kann die Summierung isolierter Schätzungen von Maßnahmenwirkungen aber auch zu beträchtlichen Doppelzählungen führen.

#### **3.2 Charakterisierung von Maßnahmen**

Die erreichte oder angestrebte Verminderung der Emissionen kann grundsätzlich nach unterschiedlichen Systematiken zugerechnet werden. Von Bedeutung sind hierbei vor allem technische, sektorale und politisch-instrumentelle Kategorien. Aus technischer Sicht sind zum Beispiel Wärmedämmung im Altbau, energiesparende Fahrweise im Personenstraßenverkehr und Nutzung von Windkraftanlagen zu unterscheiden. In sektoraler Hinsicht kann nach Bereichen wie Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr und Energieversorgung unterschieden, und es können tiefere Disaggregationen vorgenommen werden.

---

<sup>11</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

Auf der Ebene der politischen Instrumente<sup>12</sup> sind hingegen neben unmittelbar allokatonswirksamen Staatstätigkeiten insbesondere Anreize und Sanktionen von Bedeutung, die das Verhalten von Privaten beeinflussen. Politik besteht in aller Regel nicht aus den Strukturveränderungen, z.B. in einem „Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“, sondern in Maßnahmen<sup>13</sup> zur Förderung solcher Änderungen.

Die methodischen Anforderungen an Wirkungsanalysen sind aber weitaus höher, wenn politisch-instrumentelle Kategorien an Stelle von technischen oder sektoralen Kategorien zugrunde gelegt werden, da sich die Reaktionen der unmittelbar Betroffenen und die hiervon ausgehenden Folgewirkungen nur mit großen Unsicherheiten schätzen lassen. Information, Meinungsbeeinflussung, Verhandlungen, Änderungen der Preise und direkte Verhaltensnormierungen sind Instrumentenarten mit unterschiedlich hoher Eingriffsintensität des Staates und entsprechend geringem Freiheitsspielraum der Privaten. Je geringer die Eingriffsintensität ist, desto schwieriger sind die Wirkungen der Maßnahmen zu schätzen.

Einzelne Maßnahmen sind in ihren Auswirkungen oftmals schwerer einzugrenzen als Maßnahmenbündel. In der praktischen Politik sind reine Einzelmaßnahmen, die sich allein auf die Anwendung eines Instrumentes beschränken, ohnehin selten. Häufiger werden - selbst im Rahmen einzelner Gesetze oder Verordnungen - zugleich mehrere Instrumente angewendet, und es werden im übrigen auch mehrere Ziele verfolgt. Aus diesem Grund ist die begriffliche Abgrenzung zwischen Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündeln unscharf. Der fließende Übergang reicht hierbei von singulären Maßnahmen bis zu Programmen.

<sup>12</sup> Im Sprachgebrauch der Allgemeinen Wirtschaftspolitik werden die Eingriffsmöglichkeiten der Politikträger als *Instrumente* bezeichnet. Instrumente lassen sich nach Arten (Eingriffsfelder, Präzisionsgrade, Rolle des Staates) und Intensitäten (Breite des Eingriffsfeldes, Intensität des Zwanges) unterteilen. Unter einer (politischen) *Maßnahme* versteht man die Anwendung eines Instrumentes mit einer bestimmten Dimensionierung in einer konkreten Situation.

<sup>13</sup> In der energiepolitischen Diskussion werden häufig auch bestimmte Änderungen der Energienachfrage oder der Struktur des Energiesystems als Maßnahmen bezeichnet. Es handelt sich hierbei allerdings um Aktivitäten der Produzenten und Konsumenten, die nicht, auch wenn sie politisch beeinflusst sind, mit politischen Maßnahmen gleichgesetzt werden dürfen. Zur Unterscheidung werden sie als *technische Maßnahmen* bzw. *Verhaltensänderungen* gekennzeichnet.

### 3.3 Maßnahmenwirkungen

Auch bei einer weiteren Abgrenzung des Begriffes der Einzelmaßnahme im Sinne einer eigenständigen politischen Aktivität können deren Wirkungen nicht isoliert von anderen strategischen Aktivitäten bewertet werden. Die Wirkungsbeziehungen sind zum Teil komplementär (z.B. verbesserte Information, finanzielle Förderung von Anlagen und Abbau von Hemmnissen in Genehmigungsverfahren) und zum Teil substitutiv (z.B. Maßnahmen zur Verbesserung der Heizungsanlagen und solche zur Verbesserung der Wärmedämmung).

Im Katalog der Bundesregierung sind sowohl bereits ergriffene als auch weitere, geplante Maßnahmen aufgeführt. Neben dem Status der Maßnahme ist auch deren Laufzeit und die Aussichten auf Folgeaktivitäten von Bedeutung. Entscheidend ist der Zeitraum, in dem die Maßnahmen Wirkungen entfalten. Die internationalen Verpflichtungen weisen einen relativ kurzen Zeitbezug auf. Die Notwendigkeit, insbesondere die kurzfristigen Zielbeiträge zu quantifizieren, sollte jedoch nicht dazu führen, daß in Strategieüberlegungen die Langfristeffekte zu wenig beachtet werden.

Im Zusammenhang mit der Erreichung von Zielen in der Zukunft sind primär Ex-Ante-Analysen erforderlich. Eine Ex-Post-Analyse der bisherigen Wirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen ist hierbei insofern relevant, als vorliegende Bestandsaufnahmen und Grundlagen von Vorhersagen zum Teil dem aktuellen Stand angepaßt werden müssen. Außerdem können auf der Basis von Erfahrungen mit Evaluationen zurückliegender Programmwirkungen unter Umständen Anhaltswerte für die Quantifizierung spezifischer Wirkungen aktueller und künftiger Maßnahmen gewonnen werden.

Die Hauptschwierigkeit empirischer Verfahren besteht darin, die Wirkung von politischen Maßnahmen von dem Einfluß anderer Faktoren zu isolieren. In der Praxis können sich mehr oder weniger bedeutsame Einschränkungen dadurch ergeben, daß die empirischen Korrelationen nicht signifikant sind oder daß die Annahme der (ökonometrischen) Strukturkonstanz nicht zutrifft.



### 3.4 Analysemethoden

Empirische Verfahren sind für perspektivische Fragen besonders in den Fällen von geringer Bedeutung, in denen Veränderungen zu untersuchen sind, die in Art oder Ausmaß in der Vergangenheit gar nicht beobachtet werden konnten. Außerdem sind zahlreiche Maßnahmen (Information, Beratung, selbst bestimmte ordnungsrechtliche Maßnahmen) qualitativer Natur. Ökonomische Ansätze sind aus diesen Gründen auf plausible Verhaltensannahmen angewiesen. Häufig wird zudem kritisiert, daß technische Möglichkeiten in rein ökonomischen Ansätzen nicht hinreichend berücksichtigt werden, während sie gerade im Zusammenhang mit Energie- und Umweltfragen ausschlaggebend sein können. Allerdings können rein technisch ausgerichtete Analyseverfahren allein nicht zu befriedigenden Antworten führen, weil sie weder Wirtschaftssubjekte noch Institutionen oder Hemmnisse explizit abbilden. Dies macht deutlich, daß sich die Wirkungen von politischen Maßnahmen im Rahmen von Klimaschutzpolitischen Szenarien letztlich nur interdisziplinär unter Anwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze analysieren lassen.

Bei der Wirkungsanalyse sind nach dem Grad der konsistenten Wirkungszurechnung rein qualitative Angaben, isolierte Expertenschätzungen und integrierte Modellanalysen zu unterscheiden. Eine Beschränkung auf qualitative Einschätzungen ist vor allem in solchen Fällen unausweichlich, bei denen die Maßnahmen selbst nicht hinreichend quantitativ konkretisiert sind, empirische Daten über den Wirkungspfad fehlen oder beträchtliche Wechselwirkungen bestehen, die eine eindeutige Wirkungszurechnung nicht zulassen.

Quantitative Expertenschätzungen umfassen die Definition der Maßnahme oder des Maßnahmenbündels, die Schätzung der Primärwirkungen (Auswirkung auf unmittelbar Betroffene), die Schätzung der Sekundärwirkungen (Ausstrahlungseffekte, Mitnahmeeffekte usw.), die Schätzung der ausgelösten technischen Maßnahmen (z.B. Errichtung von Anlagen), die Berechnung der energiewirtschaftlichen Auswirkungen (z.B. Substitutionseffekte) und die Berechnung der Auswirkungen auf die Emissionen. Hinzu kommen (zumindest qualitative) Bewertungen der Maßnahmen nach weiteren umwelt- und gesamtwirtschaftlichen Kriterien.

Eine isolierte Analyse der Wirkungen von einzelnen Maßnahmen reicht aufgrund der Wirkungsabhängigkeit von anderen Maßnahmen und der allgemeinen Interdependenz des

Energiesystems nicht aus. Integrierte Gesamtanalysen des Energiebereichs weisen deshalb gegenüber getrennten Schätzungen auf der Basis von Expertenurteilen prinzipiell methodische Vorzüge auf. Weiterhin sind Verknüpfungen mit anderen Bereichen der Volkswirtschaft zu beachten.

Energiemodelle stoßen allerdings ihrerseits an zwei Grenzen: Erstens gibt es kein Modell, das sämtliche Facetten der technischen, wirtschaftlichen und politischen Möglichkeiten zur Emissionsreduktion adäquat abbilden könnte, und zweitens erfordern auch weniger ideale Modelle einen hohen Aufwand für die Bereitstellung und Aufbereitung geeigneter Daten. Zudem sind Modelle jeweils für bestimmte Fragestellungen formuliert. Aus diesen Gründen müssen sich in der praktischen Anwendung Expertenschätzungen, die neben isolierten Maßnahmenwirkungen auch Angaben zu Interdependenzen umfassen sollten, und unterschiedliche modellgestützte Analysen ergänzen.

Während Simulationsmodelle vor allem der Prognose und Wirkungsanalyse dienen, soll in zielorientierten Strategieberatungen mit Hilfe von Optimierungsmodellen in erster Linie untersucht werden, welche Optionen zur Erreichung bestimmter Ziele vorteilhaft sind. Optimierungsmodelle beruhen meist auf der Methode der linearen Programmierung (LP), wobei die Ergebnisse im wesentlichen von technischen Parametern und Kostengrößen determiniert werden.

Energietechnisch orientierte LP-Modelle wie das IKARUS-Optimierungs-Modell sind keine Prognosemodelle. Sie können in diesem Zusammenhang mit unterschiedlich großen Einschränkungen für folgende Fragen herangezogen werden:

- (a) Ableitung von technischen Zielszenarien zur Identifikation anzustrebender Strukturänderungen des Energiesystems im Vergleich zu einer Referenzentwicklung.
- (b) Ableitung von bedingten Vorhersagen über die künftige Struktur des Energiesystems auf der Basis von exogenen Prognosen der energieverbrauchsbestimmenden Faktoren.
- (c) Approximative Schätzung der Wirkung insbesondere von Maßnahmen, die unmittelbar technische Parameter oder Kosten von Energietechniken oder Energieträgern beeinflussen wie Energiesteuern, Subventionen usw.
- (d) Analyse der energiewirtschaftlichen Folgewirkungen von modellexogen geschätzten Impulsen.

Mit der Ableitung von technischen Zielszenarien (a) wird gezeigt, daß die politischen Ziele zumindest technisch erreichbar sind; und es können Anhaltspunkte darüber gewonnen werden, welche Techniklinien unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte in welchen Zielgruppen stärker genutzt werden sollten. Hauptanwendung von solchen Optimierungsmodellen ist die Kostenminimierung bei vorgegebenen Höchstmissionen als gesamtwirtschaftliches Entscheidungskalkül.

In den anderen Fällen (b) bis (d) ist die Kostenminimierung hingegen als approximativer Erklärungsansatz für dezentrale Entscheidungen zu verstehen. Während es im zweiten Fall (b) um reine Prognosen geht, richten sich die Anwendungsmöglichkeiten (c) und (d) unmittelbar auf Aspekte der Wirkungsanalyse. Der Unterschied besteht aber darin, daß in (c) versucht wird, die Reaktion auf bestimmte politische Maßnahmen durch einen Analogieschluß zu erklären, während in (d) mit dem linearen Energiemodell nur die energiesystemaren Folgewirkungen untersucht werden, wobei die Verhaltensreaktionen exogen vorgegeben werden müssen.

Unmittelbare Wirkungsanalysen sind auf Basis der linearen Optimierung vor allem aus den folgenden Gründen nur mit großen Einschränkungen möglich:

- Für Investoren bedeutsame Hemmnisse sind im Modell nicht abgebildet.
- Institutionelle und rechtliche Gegebenheiten können nur bedingt direkt berücksichtigt werden.
- Die Verhaltensannahme der Kostenminimierung gilt höchstens approximativ; andere Motive, eingeschränkte Information und Rationalität können nicht erfaßt werden.
- Unvollkommene Märkte führen nicht zu der im Modell implizierten optimalen Koordination einzelwirtschaftlicher Pläne.
- Für einzelwirtschaftliche Entscheidungssituationen gelten zum Teil andere Parameterkonstellationen (insbesondere hinsichtlich Finanzierung, Steuern, Abschreibungen, Liquidität) und Potentialbegrenzungen.

Wirkungsanalysen sind somit für einen Teil der politischen Maßnahmen mit dem LP-Modell nicht möglich; aufgrund der restriktiven Voraussetzungen sind sie aber selbst für den in Betracht kommenden Teil der entsprechend quantifizierbaren Maßnahmen durch

andere analytische Ansätze zu ergänzen. Der Nutzen der Modellanwendung besteht vor allem in einer konsistenten Ermittlung (der Differenzen) von Systemkosten und von Gesamtemissionen unter Beachtung der Interdependenzen innerhalb des Energiesystems sowie in der Ermittlung von (volkswirtschaftlich) kostenminimal zu erschließenden Handlungsfeldern für eine auf Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gerichtete Politik.

Die Parameter des IKARUS-Modells basieren auf einem sehr umfassenden und detaillierten Datenbestand, der auch unabhängig von Optimierungsrechnungen für Wirkungsanalysen und -abschätzungen sehr hilfreich sein kann.

### **3.5 Hinweise zu vorwiegend qualitativ zu behandelnden Maßnahmen<sup>14</sup>**

Insbesondere bei Maßnahmen, die eher das Umfeld der Akteure betreffen, die letztlich die CO<sub>2</sub>-Minderung realisieren sollen, ist eine Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Wirkung schwierig. Denn in diesen Fällen lassen sich die Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht eindeutig auf derartige Maßnahmen zurückführen. Dieses Kausalitäts- oder Zurechnungsproblem wird vor allem bei den indirekt wirkenden Maßnahmen - in erster Linie in den Bereichen Aus- und Weiterbildung, Beratung und Information sowie Forschung und Entwicklung - gesehen.

Dahinter steckt allerdings häufig die implizite Vorstellung, daß das CO<sub>2</sub>-Minderungspotential direkt wirkender Maßnahmen wie der Wärmeschutzverordnung, unabhängig von indirekt wirkenden Maßnahmen stets in voller Höhe realisiert würde. Realistisch betrachtet hängt aber die tatsächliche Wirkung direkter Maßnahme auch davon ab, wie diese Maßnahmen umgesetzt werden. Letzteres wird entscheidend vom vorhandenen Know-How der an der Umsetzung Beteiligten beeinflusst. Das ist die Stelle, an der Aus- und Weiterbildung, Beratung und Informationsmaßnahmen ansetzen.

So zeigen etwa Beispiele aus dem Baubereich, daß Mängel in der Ausführung die Effektivität direkt wirkender Maßnahmen erheblich beeinträchtigen können. Vergleicht man ein Gebäude, das nach Wärmeschutzverordnung 1982 gebaut wurde, mit einem Niedrigenergiehaus, so trägt z. B. die sorgfältige und gewissenhafte, dem Stand der Fach-

---

<sup>14</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom ISI bearbeitet.

kenntnisse folgende handwerkliche Bauausführung mit 20 % zur Energieeinsparung bei. An dieses Potential kommt ansonsten nur der bauliche Wärmeschutz mit ebenfalls 20 % heran, während andere Maßnahmen, wie die Installation anpassungsfähiger Heizsysteme oder die passive Solarenergienutzung nur 15 % bzw. 5 % beitragen.

Schwierigkeiten bei der Quantifizierung von Maßnahmenwirkungen bestehen insbesondere auch mit Blick auf den Komplex von Forschung und Entwicklung (FuE). FuE-Maßnahmen leisten einen wichtigen Beitrag zur Beschleunigung des energiesparenden technischen Fortschritts. Somit hat die Förderung von Forschung und Entwicklung als langfristig wirksames Instrument einen nicht zu unterschätzenden Stellenwert in der Klimapolitik.

Im ersten Nationalbericht der Bundesregierung wird eine größere Zahl von Forschungsprogrammen aufgelistet, deren Umsetzung zum Klimaschutz beiträgt. Hierbei handelt es sich im einzelnen um

- das Fachprogramm Umweltforschung und -technologie
- das Energieforschungsprogramm mit seinen Teilprogrammen:
  - Kraftwerks- und Feuerungstechnik sowie Gas- und Dampfturbinenkraftwerke
  - erneuerbare Energiequellen mit spezifischen Programmen zur Photovoltaik, Wind, Solarthermie, Biomasse und Geothermie
  - Sekundärenergieträger und rationelle Energieverwendung
  - Kernspaltung- und Kernfusionstechnik

sowie um

- die thermische Abfallbehandlung.

Diese Programme erhöhen entweder die Energieeffizienz oder sie reduzieren heute übliche Energiesystemkosten; teilweise reduzieren sie auch die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Energieträgersubstitution (z.B. durch Nutzung erneuerbarer Energiequellen bei neuen Stromanwendungen oder durch Abfallnutzung) oder sie erhöhen die Recyclingraten energieintensiver Werkstoffe bzw. vermindern ihren Ausschuß auf verschiedenen Produktionsstufen.

Eine Abschätzung der Wirkungen derartiger FuE-Programme auf die Treibhausgasemissionen ist vorwiegend nur qualitativ möglich. Eine Quantifizierung ihres Beitrages zum CO<sub>2</sub>-Minderungsziel für 2005 scheidet aus pragmatischen oder inhaltlichen Gründen weitgehend aus, weil

- der technisch erfolgreiche Abschluß der Arbeiten meist noch ungeklärt ist, oder ihre Markteinführung und -durchdringung nicht absehbar sind,
- die Vielfalt der technischen Neuerungen so groß ist, daß sie sich einer analytischen Einschätzung entzieht, und
- die technischen Entwicklungen teilweise nur alternativ zur Anwendung kämen.

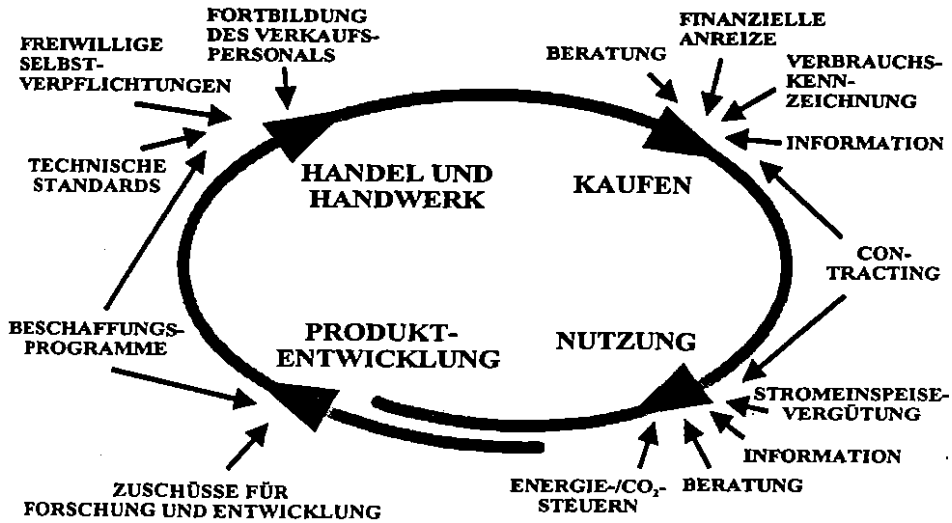
Es läßt sich nur im Einzelfall nachweisen, welche Effizienzpotentiale FuE eröffnen kann oder in Zukunft eröffnen könnte. Der jeweilige Zusammenhang ist aber nicht verallgemeinerbar, weil stets viele, in ihrer Einflußstärke wechselnde Einflußparameter in einem Innovationsprozeß wirksam sind (vgl. Abbildung 2).

Grundsätzlich läßt sich sagen, daß bis zum Jahr 2005 im wesentlichen ein zusätzlicher Beitrag zur Emissionsminderung im Bereich der Feuerungstechnik, der Kraftwerkstechnik, der rationellen Energieverwendung in allen Energieverbrauchssektoren und der Sekundärenergieträger erwartet werden kann. Indirekte Wirkungen können häufig auch vom Umweltforschungsprogramm erwartet werden sowie von einigen anderen Forschungsprogrammen des BMBF, die sich neuen Prozessen und Materialien widmen (Materialforschung, MaTec). Diese Zusammenhänge werden in Teil II, Kapitel 4.2.5 ausführlicher beschrieben, ohne in der Regel genauere quantitative Schätzungen zum CO<sub>2</sub>-Minderungspotential bis zum Jahre 2005 aus den o.g. Gründen machen zu können.

Dennoch sollten die möglichen Auswirkungen von FuE nicht unterschätzt werden. Denn langfristige Vergleichsanalysen kommen zu dem Ergebnis, daß die Zukunftserwartungen hinsichtlich des technisch-wirtschaftlichen Effizienzpotentials seit drei Jahrzehnten stets mit etwa 20 % veranschlagt wurden, obwohl seitdem (unter Abzug struktureller Effekte) Effizienzgewinne um etwa 15 % je Jahrzehnt erreicht worden sind (Jochem/Bradke 1996).

Abbildung 2

**Forschung und Entwicklung als Anfangsglied im Innovationsprozeß  
energieeffizienter Anlagen und Produkte - Schema**



#### 4 Literatur zu Teil I

- Bundesregierung (1994): Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, September 1994.
- Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages (1994): Mehr Zukunft für die Erde. Bonn, 1995.
- ESSO (1995): Energieprognose. Moderne Heizung - aktiver Klimaschutz. Stand: Dezember 1995. Hamburg 1996.
- ESSO (1996): Energieprognose. Industrie verbraucht weniger Energie. Stand: November 1996. Hamburg 1996.
- FERI (1995): Deutschland Prognose Energie. Ökostudie Dezember 1995.
- FhG-ISI, Öko-Institut (1997): Emissionsminderungsmaßnahmen für Methan, N<sub>2</sub>O, nichtmethanhaltige Kohlenwasserstoffe und prozeßbedingtes CO<sub>2</sub>. Karlsruhe, Berlin 1997.
- Hillebrand, B. et al (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien. In: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19. Essen 1996 (RWI/Ifo-Studie).
- Jochem, E.; Bradke, H. (1996): Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie. IKARUS-Monographien, Forschungszentrum Jülich, 1996.
- Kunz, I.; Holtrup, P. (1996): Maßnahmen zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein internationaler Vergleich. KFA-TFF Jülich, September 1996.
- Prognos AG (1995): Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft. Basel, 23. Oktober 1995.



## II Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren

In Übereinstimmung mit dem Auftraggeber haben die Projektpartner vereinbart, für die Untersuchung der Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Referenzentwicklung zu unterstellen, die sich im wesentlichen an der von der Prognos AG (1995) vorgelegten Vorausschätzung des Energieverbrauchs in Deutschland orientiert. Dies bot sich nicht nur wegen der Aktualität dieser Studie an, sondern mit Blick auf die hier durchzuführenden Wirkungsanalysen auch aufgrund der dort vorgenommenen hohen Differenzierung der sektoralen und technologischen Parameter. Der Prognos-Studie lagen die in Tabelle 8 zusammengefaßten Rahmenbedingungen zugrunde.

Tabelle 8

### Zusammenfassung der wichtigsten Leitvariablen für die Emissionsprojektion<sup>\*)</sup>

	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2020
Welt-Kohlepreis	US-\$/t						
Welt-Erdölpreis (1993er-Preise)	US-\$/bbl	24,2	16,3	16,7	18,1	20,0	26,0
Energiepreise im Inland (1993er-Preise)							
Großhandelspreise (ohne MWSt)			(1993)				
Heizöl leicht	DM/GJ	11,6	9,5	9,9	10,3	10,7	12,4
Heizöl schwer	DM/GJ	5,7	4,5	4,9	5,2	5,9	6,8
Erdgas (Industrie)	DM/GJ	9,1	7,9	7,9	8,3	8,7	10,4
Erdgas (Kraftwerke)	DM/GJ	7,4	6,6	6,7	7,2	7,6	9,5
Importkohle	DM/GJ	3,5	2,5	3,1	3,3	3,6	4,1
Strom Industrie (Hochspannung)	DM/kWh	14,4	13,6	11,4	11,1	11,7	14,4
Preise für Haushaltskunden (mit MWSt)							
Heizöl leicht	DM/GJ	15,0	13,6	13,8	14,3	14,7	17,0
Erdgas	DM/GJ	17,9	18,5	18,3	18,8	19,2	21,5
Normalbenzin	DM/Liter	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6
Superbenzin	DM/Liter	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6
Diesel	DM/Liter	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2
Strom (Normaltarif)	DM/kWh	32,3	31,5	28,2	27,7	28,7	33,5
Bruttoinlandsprodukt (in Preisen von 1991)	Mrd. DM	2775	3023	3501	3957	4432	5421
Bevölkerung	Mill.	79,4	81,6	82,3	82,1	81,8	80,9
Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch im Pkw/Kombi-Bestand <sup>1)</sup>	l/100 km	(1991) 9,8	(1994) 9,5	8,9	8,2	7,5	6,2
Durchschnittliche Fahrleistungen von Pkw/Kombi mit Ottomotoren	1000 km	(1991) 12,2	(1994) 11,7	12,4	12,4	12,5	12,5
Pkw/Kombi mit Dieselmotoren	1000 km	17,2	17,1	16,5	16,0	15,5	15,0
Pkw/Kombi mit Elektroantrieb	je	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kraftomnibusse mit Dieselmotoren	Fahrzeug	49,7	52,3	58,0	59,0	60,0	62,0
Kraftomnibusse mit Ottomotoren	und	22,0	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
Übrige Fahrzeuge mit Ottomotoren	Jahr	13,5	13,4	14,2	14,6	14,9	15,8
Übrige Fahrzeuge mit Dieselmotoren		21,9	21,9	22,5	22,4	22,3	22,7
Primärenergieverbrauch	PJ	14795	14165	14517	14501	14441	14231
Index des produzierenden Gewerbes <sup>2) 3)</sup>	1990=100	100	97	116	130	143	170
Index der Industrieproduktion <sup>2)</sup>	1990=100	100	94	114	130	145	177

<sup>\*)</sup> Tabelle entspricht Appendix III, Table 8 der FCCC/CP Guidelines vom 17. Juli 1996.

<sup>1)</sup> Flottenverbrauch aller neuen Pkw/Kombi: heute rund 9,8 l/100 km, 2010 etwa 7,5 l/100 km und 2020 rund 5,8 l/100 km.

<sup>2)</sup> Index berechnet auf der Basis der sektoralen Bruttowertschöpfung in Preisen von 1991.

<sup>3)</sup> Energie- und Wasserversorgung, Bergbau, verarbeitendes Gewerbe und Baugewerbe.

Quelle: Prognos AG 1995.

Im einzelnen werden in diesem Teil II die Wirkungen der jeweiligen CO<sub>2</sub>-emissionsmindernden Maßnahmen geschätzt, um auf dieser Grundlage im Teil III die drei folgenden Szenarien beschreiben zu können, nämlich

1. das „*Ohne-Maßnahmen-Szenario*“, bei dem die von 1990 an implementierten klimaschutzpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung *nicht* berücksichtigt werden.
2. das „*Mit-Maßnahmen-Szenario*“, das die bis Mitte 1996 (im wesentlichen von der Bundesregierung) ergriffenen Maßnahmen von klimaschutzpolitischer Bedeutung enthält. Dieses Szenario entspricht im großen und ganzen den Ergebnissen der Vorausschätzung von Prognos, schließt aber die Wirkungen der Maßnahmen mit ein, die erst nach Abschluß dieser Vorausschätzung umgesetzt worden sind (z.B. die Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft vom März 1996).
3. das „*Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario*“, das zusätzliche Maßnahmen berücksichtigt, die grundsätzlich als geeignet erscheinen, das von der Bundesregierung gesetzte Ziel bis zum Jahre 2005 zu erreichen.

Die klimaschutzpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung weisen im allgemeinen einen engen sektoralen Bezug auf, dem hier dadurch Rechnung getragen werden soll, daß die Untersuchung der Maßnahmen und ihrer Wirkungen in diesen drei Szenarien im wesentlichen in sektoral gegliederter Form durchgeführt wird. Dabei werden folgende Sektoren näher betrachtet:

- *Energiegewinnung/-umwandlung:*      Elektrizitätswirtschaft  
    Fernwärmewirtschaft  
    erneuerbare Energiequellen
- *Endenergiesektoren:*                      Verkehr  
    Industrie und Kleinverbraucher  
    Haushalte

Entsprechend den Anforderungen an die Nationalberichte beginnt die sektorale Darstellung zwar mit dem Umwandlungssektor, doch wurden in ihrer zeitlichen und inhaltlichen Abfolge zunächst die Maßnahmen in den Endenergiesektoren analysiert. Die Untersuchung des Umwandlungssektors berücksichtigt die maßnahmeninduzierten Veränderungen in den Endenergiesektoren.

## 1 Sektorübergreifende Maßnahmen<sup>15</sup>

Obwohl die Klimaschutzpolitik der Bundesregierung weitgehend sektoral orientiert ist, gibt es einige wesentliche sektorübergreifende Maßnahmen. Hierzu zählt neben den eher generalisierenden Maßnahmen in den Bereichen Beratung, Information, Aus- und Fortbildung sowie Forschung und Entwicklung vor allem die vielfach diskutierte Einführung einer allgemeinen Energie-/CO<sub>2</sub>-/Ökosteuer. Die Bundesregierung selbst hat noch in ihrem ersten Nationalbericht (unter Nr. 107) die „Einführung einer zumindest EU-weiten aufkommens- und wettbewerbsneutralen CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer“ ins Auge gefaßt, dies aber von einem entsprechenden Beschluß auf EU-Ebene abhängig gemacht. Ein derartiger Beschluß scheiterte bisher aber an der konträren Interessenlage der Mitgliedsländer; es ist auch nicht abzusehen, ob und wann es dazu kommen könnte. Die Bundesregierung hat einen nationalen Alleingang in dieser Frage jedenfalls ausgeschlossen.

Andererseits ist nicht zu verkennen, daß eine Energiesteuer einen erheblichen Beitrag zur Realisierung der klimaschutzpolitischen Ziele leisten könnte. Hier sei nur auf die entsprechenden Arbeiten des DIW hingewiesen, wonach bei einer entsprechenden Besteuerung der Energieträger die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 gegenüber 1990 immerhin um rund 17 % reduziert werden könnten (Bach et al. 1995). Natürlich hängt das Ausmaß der aufgrund derartiger Maßnahmen zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Minderung entscheidend von Art und Höhe der Steuerbelastung ab. Nur geringfügige Preisaufschläge mögen finanzpolitischen Notwendigkeiten dienen, für eine wirksame Klimaschutzpolitik dürften sie aber weitgehend bedeutungslos bleiben.

Als ein mittlerer Weg mag der von der EG-Kommission vorgelegte Richtlinienentwurf für eine EU-weite CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer bezeichnet werden, dem die Bundesregierung folgen möchte. In der RWI/Ifo-Studie sind die damit verbundenen Wirkungen quantifiziert worden.

Folgende Übersicht zeigt für ausgewählte Sektoren die aufgrund der CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer im Jahre 2005 gegenüber dem Referenzszenario erwarteten Minderungen der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die Emissionsreduktion, die in dem von RWI/Ifo untersuchten

<sup>15</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

sog. IMA-Szenario (s.o.) in diesen Sektoren bei Einsatz aller berücksichtigten Maßnahmen angenommen worden ist (Angaben nach RWI/Ifo in Mill. t CO<sub>2</sub>).

	Wirkung der <u>CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer</u>	Wirkung aller <u>Maßnahmen</u>
öffentliche Elektrizitätserzeugung	-1,8	-15,1
verarbeitendes Gewerbe	-3,0	-16,3
Güterverkehr	-0,4	-1,9
Personenverkehr	-1,9	-13,8
Kleinverbrauch	-1,9	-15,0
Haushalte	-3,2	-10,6

Die Übersicht macht zwar die grundsätzliche Wirksamkeit der Steuer deutlich, sie läßt aber auch die vergleichsweise begrenzten Wirkungen des in der RWI/Ifo-Studie analysierten Steuermodells erkennen. Gemessen an der Wirkung der jeweiligen Maßnahmenbündel fallen die steuerinduzierten Emissionsminderungen lediglich bei den privaten Haushalten sowie im verarbeitenden Gewerbe ins Gewicht. Die jeweils anderen Maßnahmen tragen demgegenüber zu einer wesentlich stärkeren Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei.

Dieses Resultat spricht allerdings nicht gegen die schon aus ordnungspolitischen Gründen bestehende Vorteilhaftigkeit einer Energiesteuer; es signalisiert vielmehr, daß der vorliegende Steuervorschlag mit Blick auf das Ausmaß der notwendigen Emissionsminderung offenkundig zu schwach dimensioniert ist.

Zwar sollte nach Auffassung der Projektpartner einer Energiesteuer im Rahmen einer wirksamen Klimaschutzpolitik eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, doch wurde im Rahmen dieser Untersuchung darauf verzichtet, ein sektorübergreifendes „eigenes“ Steuermodell zu entwickeln und hinsichtlich seiner Wirkungen zu analysieren. Abgesehen davon, daß zu diesem Thema inzwischen zahlreiche Arbeiten vorliegen (vgl. Kohlhaas, Welsch 1995), ist dieser Verzicht vor allem auf entsprechende Hinweise in der IMA CO<sub>2</sub>-Reduktion zurückzuführen, wonach für die Bundesregierung zumindest aus klimaschutzpolitischen Gründen allenfalls die genannte EU-weite CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer in Frage kommt. Hierzu möge aber der Verweis auf die von RWI/Ifo angestellten Rech-

nungen ausreichen. Unabhängig davon sind in der hier vorliegenden Untersuchung für einzelne Bereiche (z.B. Verkehr) zumindest die Wirkungen sektorbezogener Steuern aufgezeigt worden.

## 2 Energie- und Umwandlungssektoren

Die Energie- und Umwandlungssektoren sind die Bereiche mit den - zusammengekommen - bei weitem höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Nach der IPCC-Abgrenzung sind sie in Deutschland mit reichlich 40 % an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen beteiligt; in den neuen Bundesländern sind es nahezu 60 %, in den alten Bundesländern etwas weniger als 40 % (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9:

### Anteil der Energie- und Umwandlungssektoren an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschland in %

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
	Summe Energieerzeugung und -umwandlung					
Alte Bundesländer	39,0	38,9	38,5	37,9	38,9	38,3
Neue Bundesländer	53,7	58,9	60,1	58,6	58,5	56,0
Deutschland	43,4	43,6	43,1	42,2	42,8	41,7
	davon: Kraftwerke					
Alte Bundesländer	33,8	33,7	33,3	32,7	32,9	33,0
Neue Bundesländer	16,2	13,2	12,3	11,8	11,5	11,0
Deutschland	35,0	35,8	35,8	35,2	35,6	35,5
	davon: Heizkraftwerke/Fernheizwerke sowie übrige Energieumwandlung					
Alte Bundesländer	5,2	5,2	5,1	5,3	6,0	5,4
Neue Bundesländer	16,0	16,5	15,3	13,6	12,3	9,9
Deutschland	8,5	7,9	7,3	7,0	7,2	6,2
Quellen: UBA; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DiW.						

### 2.1 Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft

Innerhalb des Energie- und Umwandlungssektors dominiert mit zunehmender Tendenz die Elektrizitätswirtschaft: Im Jahre 1995 hatte sie einen Anteil an den Emissionen des gesamten Energiesektors von etwa 85 %, gefolgt von der Fernwärme mit etwa 8 %. Auf alle übrigen Umwandlungsbereiche zusammen entfielen lediglich rund 7 %; diese Sektoren werden daher im folgenden nicht gesondert berücksichtigt.

In Tabelle 10 ist die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Anlehnung an die entsprechen-

den Ergebnisse der Prognos-Vorausschätzung dargestellt. Danach wird für die Jahre 1990 bis 2005 für Deutschland insgesamt mit einer Reduzierung um rund 60 Mill. t oder um etwa 14 % gerechnet. Dieser Rückgang ist fast ausschließlich auf die Veränderungen in den neuen Bundesländern zurückzuführen; während die Emissionen im Energiesektor der alten Bundesländern praktisch konstant bleiben.

Tabelle 10:

**CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energie- und Umwandlungssektor in Deutschland bis zum Jahre 2005 in Anlehnung an die Vorausschätzung von Prognos<sup>1)</sup>**

	1990	1992	1995	2000 <sup>1)</sup>	2005 <sup>1)</sup>	1990/2005
	Emissionen in Mill. t					Veränderungen in %
Alte Bundesländer						
Kraftwerke	239	243	238	244	243	2
Fernwärme	15	16	16	16	16	7
Übrige Umwandlungsbereiche	22	22	23	18	17	-23
Summe	276	281	277	278	276	0
Neue Bundesländer						
Kraftwerke	115	89	80	78	85	-26
Fernwärme	28	20	16	14	11	-61
Übrige Umwandlungsbereiche	21	10	1	8	6	-71
Summe	164	120	97	100	102	-38
Deutschland						
Kraftwerke	354	333	317	322	328	-7
Fernwärme	43	36	32	30	27	-37
Übrige Umwandlungsbereiche	43	32	24	26	23	-46
Summe	439	401	373	378	378	-14

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.

<sup>1)</sup> Brennstoffverbrauch nach PROGNOSE kombiniert mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach UBA.  
Quellen: Prognos 1995. UBA: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DIW 1995.

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.

<sup>1)</sup> Brennstoffverbrauch nach PROGNOS kombiniert mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach UBA.

Quellen: Prognos 1995, UBA; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DIW 1995.

Innerhalb des Energiesektors wird der Emissionsanteil der Elektrizitätswirtschaft weiter zunehmen, und zwar bis auf 87 % im Jahre 2005 (Fernwärme: 7 %; übrige Umwandlungssektoren: 6 %).

### 2.1.1 Elektrizitätswirtschaft

Vor diesem Hintergrund kommt Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft eine besondere Bedeutung zu. Allerdings ist festzustellen, daß sich in dem umfangreichen Katalog der Bundesregierung keine direkt auf den Kraftwerksbereich zielenden Maßnahmen finden, wenn man an dieser Stelle die Maßnahmen zugunsten der Förderung von Stromerzeugungssystemen auf Basis erneuerbarer Energiequellen ausklammert (vgl. dazu Teil II, Kapitel 2.2) und von einigen FuE-Aktivitäten absieht. Zu den FuE-Aktivitäten zählen vor allem die im IMA-Katalog

genannten Maßnahmen 41 und 42, bei denen es von der Zielsetzung her grundsätzlich um die Weiterentwicklung zugunsten höherer Erzeugungswirkungsgrade geht.

Schon die heutigen Kraftwerksgenerationen - insbesondere die Gas- und Dampfturbinenkraftwerke - weisen erheblich günstigere Wirkungsgrade auf als die noch in Betrieb befindlichen Anlagen. Mit zunehmender FuE-gestützter Marktdurchdringung ist eine weitere Effizienzsteigerung zu erwarten, die teilweise bereits bis 2005 wirksam werden könnte. So erwartet Prognos, daß sich der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad der Stromerzeugung im gesamten Kraftwerkspark in Deutschland schon im Referenzszenario von knapp 38 % im Jahre 1993 um beinahe 3 Prozentpunkte auf nahezu 41 % im Jahre 2005 erhöht; bei Erdgaskraftwerken wird in dieser Periode sogar mit einer Steigerung von 42,3 % auf 46,5 % gerechnet. Längerfristig erscheint die Entwicklung von Brennstoffzellen für den Einsatz in Kraftwerken als eine aussichtsreiche Technik, die es durch entsprechende FuE-Aktivitäten (vgl. dazu auch die Maßnahme Nr. 48 im IMA-Katalog) zu unterstützten gilt.

Abgesehen von den FuE-Aktivitäten ist im Elektrizitätssektor derzeit lediglich die Selbstverpflichtungserklärung der VDEW als eine klimaschutzrelevante Maßnahme zu nennen. VDEW beziffert das CO<sub>2</sub>-Minderungspotential für den Bereich der öffentlichen Stromversorgung für die Periode von 1987 bis 2015 auf rund 25 %; gegenüber 1990 wird bis 2015 mit einem Reduktionspotential von 12 % gerechnet. Bezogen auf den von der Bundesregierung genannten Zeitraum 1990 bis 2005 erwartet VDEW eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 8 bis 10 %. Der untere Wert entspricht recht genau den Ergebnissen der Vorausschätzung von Prognos, wonach es innerhalb dieser Periode zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 8 % kommen könnte. Im übrigen ist darauf zu verweisen, daß VDEW die Erfüllung ihrer Selbstverpflichtungserklärung von einer Reihe von Voraussetzungen abhängig macht, die - insbesondere mit Blick auf die weitere Nutzung der Kernenergie - aus heutiger Sicht keinesfalls als gesichert gelten können. Alles in allem werden die CO<sub>2</sub>-mindernden Effekte dieser Selbstverpflichtungserklärung für das Jahr 2005 in der RWI/Ifo-Studie auf rund 11 Mill. t veranschlagt (Hillebrand 1996, S. 62/63). Dabei sind Wirkungsgradsteigerungen bei den konventionellen Kraftwerken (etwa 5 Mill. t CO<sub>2</sub>), Leistungssteigerungen bei Kernkraftwerken (etwa 2 Mill. t CO<sub>2</sub>) und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen (etwa 5 Mill. t CO<sub>2</sub>) berücksich-

sichtigt worden. Dieser Einschätzung wird in der hier vorliegenden Untersuchung größenordnungsmäßig gefolgt: Die CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkungen der auf den breiteren Einsatz von erneuerbaren Energiequellen zielenden Selbstverpflichtung werden mit 5,5 Mill. t CO<sub>2</sub>, die Effekte der übrigen Maßnahmen zusammengekommen mit rund 7 Mill. t CO<sub>2</sub> beziffert.

Auf EU-Ebene sind inzwischen die Weichen für eine Liberalisierung des Strommarktes gestellt worden. In dieselbe Richtung zielen die Bestrebungen der Bundesregierung, den Elektrizitätssektor einer stärker wettbewerbsorientierten Ordnung zu unterwerfen. Zwar sind die klimaschutzpolitischen Konsequenzen dieser Aktivitäten derzeit kaum einzuschätzen, doch ist anzunehmen, daß sich zumindest die Tendenz zugunsten der Verstromung von Erdgas verstärken wird. Allerdings ist der Spielraum hierfür angesichts des in Deutschland existierenden Kraftwerksparks begrenzt. Hier werden die aus diesen Maßnahmen resultierenden CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkungen für 2005 in grober Annäherung mit rund 6 Mill. t angesetzt.

Schließlich müssen als Folge bereits ergriffener klimaschutzpolitischer Maßnahmen auch die indirekten Wirkungen beachtet werden, die mit den maßnahmenabhängigen Veränderungen der Stromnachfrage in den Endenergiesektoren verbunden sind. Immerhin wird der dadurch hervorgerufene Stromminderverbrauch im Jahre 2005 mit fast 30 Mrd. kWh angegeben; dem entspricht eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um reichlich 16 Mill. t.

Unter den Bedingungen des „Mit-Maßnahmen-Szenarios“ könnten sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung wie folgt entwickeln, wobei zum Vergleich auch die Entwicklung im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ gezeigt wird (Angaben in Mill. t CO<sub>2</sub>):

	<u>1990</u>	<u>1995</u>	<u>2000</u>	<u>2005</u>
Ohne-Maßnahmen-Szenario			331,4	345,5
Mit-Maßnahmen-Szenario	353,6	317,5	316,7	318,9

Durch die für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ unterstellten Maßnahmen würden also die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005 um fast 27 Mill. t oder um knapp 8 % niedriger ausfallen als im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“. Gegenüber 1990 würde dies eine Reduktion um rund 10 % bedeuten; verglichen mit 1995 blieben die Emissionen praktisch unverändert.



Eine Emissionsminderung erfordert daher den Einsatz zusätzlicher Maßnahmen. Über die zuvor skizzierten Maßnahmen hinaus ergeben sich (technische) Handlungsspielräume für Emissionsminderungen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft grundsätzlich durch

- den Bau von neuen Stromerzeugungsanlagen mit hohen Wirkungsgraden,
- eine Veränderung der Kraftwerkseinsatzstruktur in Richtung emissionsärmerer Brennstoffe,
- die verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung,
- eine Verringerung des Strombedarfs.

Spürbare Wirkungen auf die kraftwerksseitig bedingten Emissionen ergeben sich unabhängig von den unmittelbar stromerzeugungsbezogenen Aktivitäten wiederum durch die weiteren Maßnahmen, die innerhalb der einzelnen Endenergiesektoren auf eine Senkung des Stromverbrauchs zielen. Im Vergleich zu dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ läßt sich der Stromminderverbrauch im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ für das Jahr 2005 immerhin auf 48 Mrd. kWh veranschlagen; allein dies würde eine zusätzliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 28 Mill. t auslösen.

Angesichts des bis 2005 für den Kraftwerkssektor nur noch vergleichsweise kurzen Umsetzungszeitraumes und der auf Sicht ausreichenden Kraftwerkskapazitäten wird bei den folgenden Überlegungen für das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ schon aus ökonomischen Gründen keine stärkere Neubautätigkeit als im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ angenommen. Deshalb dürfte auch ein weiterer Zubau von Kernkraftwerken unrealistisch sein. Spielraum dürfte es jedoch bei der künftigen Struktur der Stromerzeugung geben. So wird unterstellt, daß die Anpassung an das geringere Niveau der Stromerzeugung im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“, das aufgrund der Stromverbrauchsminderung in den Endenergiesektoren eintreten würde (s.o.), ausschließlich zu Lasten der Verstromung der emissionsintensiven Braun- und Steinkohle geht. Relativ dazu vergrößert sich also das Gewicht der emissionsärmeren oder -freien Energieträger. Insgesamt errechnet sich daraus ein CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt in Höhe von reichlich 17 Mill. t. Durch eine verbesserte Selbstverpflichtung sollte sichergestellt werden, daß die Elektrizitätswirtschaft einer derartigen Strukturanpassung folgt.

Unter Berücksichtigung von Überlappungen bei den Maßnahmenwirkungen könnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Elektrizitätswirtschaft im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ nachstehenden Verlauf aufweisen (Angaben in Mill. t CO<sub>2</sub>):

	<u>1990</u>	<u>1995</u>	<u>2000</u>	<u>2005</u>
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario	353,6	317,5	303,5	274,8

Im Vergleich zu dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen demnach im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ im Jahre 2005 um 44 Mill. t oder um fast 14 % niedriger; gegenüber 1990 bedeutet dies einen Rückgang um reichlich ein Fünftel.

In der Tabelle 11 sind noch einmal die den Szenarien zugrunde gelegten Maßnahmen mit ihren (isolierten) CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkungen dargestellt.

Tabelle 11:

**Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Stromerzeugung**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise	Status	Wirkung in Mill. t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
1	Selbstverpflichtungen (VDEW) (IMA: Nr. 110)	Selbstverpflichtungen	Erdklärung der Energieversorger zur Minderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen im Bereich der öffentlichen Stromerzeugung durch Erhöhung der Wirkungsgrade der konventionellen Kraftwerke, Steigerung der Leistungsfähigkeit der Kernkraftwerke u.ä. <sup>9</sup>	ergriffen	4,0	7,0
2	Liberalisierung des Strommarktes	Ordnungspolitik	Verstärkter Zubau von Erdgas-GuD-Kraftwerken	ergriffen	3,0	6,0
3	Minderung der Stromnachfrage I	Keine eigenständige Maßnahme, sondern Resultat der ergriffenen Maßnahmen zur rationalen Energieverwendung in den Endenergiesektoren (dort nicht als strombedingte Emissionsminderung ausgewiesen)		ergriffen	8,7	16,3
4	Minderung der Stromnachfrage II	Keine eigenständige Maßnahme, sondern Resultat der vorgeschlagenen Maßnahmen zur rationalen Energieverwendung in den Endenergiesektoren (dort nicht als strombedingte Emissionsminderung ausgewiesen)		vorgeschlagen	7,7	28,0
5	Verbesserung der Selbstverpflichtungserklärung; Änderung der Stromerzeugungsstruktur zugunsten emissionsärmerer Brennstoffe	Selbstverpflichtungen	Anpassung der Stromerzeugung an die geringere Stromnachfrage durch Rücknahme der Kapazitäten bei Steinkohlen- und Braunkohlenkraftwerken; Kapazitäten der übrigen Kraftwerke wie im "Mit-Maßnahmen-Szenario", Resultat: Emissionsärmere Erzeugungsstruktur.	vorgeschlagen	5,7	17,4

<sup>9</sup> Ohne Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Stromerzeugung.

Weiterhin sind zum besseren Verständnis der jeweiligen Szenarien für den Stromsektor in Tabelle 12 die Annahmen und Ergebnisse im Detail ausgewiesen.

Tabelle 12:

Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Stromerzeugung

	Einheit	Ist		Ohne-Maßn.-Sz.		Mit-Maßn.-Sz.		Mit weit. Maßn.-Sz.	
		1990	1995	2000	2005	2000	2005	2000	2005
Stromverbrauch Endenergie	TWh	446	437	482	517	489	493	458	453
Industrie	TWh	208	189	213	237	203	218	200	203
Verkehr	TWh	14	15	18	20	18	20	18	20
Haushalte	TWh	117	128	130	129	130	129	125	112
Kleinverbraucher	TWh	108	105	120	131	117	126	115	117
Stromverbrauch Energiesektor	TWh	104	102	100	102	98	97	96	89
Brutostromverbrauch	TWh	551	539	582	618	567	590	554	542
Stromaustauschsaldo	TWh	1	4	2	11	2	11	2	11
Brutostromerzeugung	TWh	550	535	580	608	565	579	552	531
Stromerzeugungsnutzungsgrad	%	37,2	38,4	39,7	40,8	39,7	40,9	39,7	41,0
Brennstoffeinsatz	PJ	5319	5016	5263	5358	5121	5097	4999	4661
Steinkohlen	PJ	1270	1331	1497	1598	1390	1422	1373	1189
Braunkohlen	PJ	1796	1451	1357	1374	1305	1272	1200	1069
Mineralöle	PJ	110	76	93	77	93	77	93	77
Naturgase	PJ	336	337	481	538	498	555	498	555
Wasserkraft	PJ	169	208	231	246	231	246	231	246
Kernenergie	PJ	1442	1433	1429	1332	1429	1332	1429	1332
andere Brennstoffe	PJ	196	180	175	193	175	193	175	193
Stromerzeugung	TWh	550	535	580	608	565	579	552	531
Steinkohlen	TWh	kA	147	168	182	156	162	154	135
Braunkohlen	TWh	kA	143	141	147	135	136	125	114
Mineralöle	TWh	kA	8	10	9	10	9	10	9
Naturgase	TWh	kA	41	60	72	62	74	62	74
Wasserkraft	TWh	kA	24	27	29	27	29	27	29
Kernenergie	TWh	kA	154	155	148	155	148	155	148
andere Brennstoffe	TWh	kA	18	19	21	19	21	19	21
Stromerzeugungsnutzungsgrad	%	37,2	38,4	39,7	40,8	39,7	40,9	39,7	41,0
Steinkohlen	%	kA	39,8	40,3	40,9	40,3	40,9	40,3	40,9
Braunkohlen	%	kA	35,4	37,4	38,5	37,4	38,5	37,4	38,5
Mineralöle	%	kA	37,1	39,4	40,0	39,4	40,0	39,4	40,0
Naturgase	%	kA	43,8	45,0	48,0	45,0	48,0	45,0	48,0
Wasserkraft	%	kA	41,9	42,3	43,1	42,3	43,1	42,3	43,1
Kernenergie	%	kA	38,7	39,1	40,1	39,1	40,1	39,1	40,1
andere Brennstoffe	%	kA	36,2	36,3	39,1	38,3	39,1	38,3	39,1
Kraftwerksleistung	GW	kA	123,7	127,9	132,3	124,7	126,7	122,3	120,3
Steinkohlen	GW	kA	33,8	37,4	39,6	34,2	34,8	33,4	31,6
Braunkohlen	GW	kA	24,2	20,7	21,6	19,9	20,0	18,3	16,8
Mineralöle	GW	kA	10,7	9,4	7,8	9,4	7,6	9,4	7,8
Naturgase	GW	kA	19,6	23,1	25,6	23,9	26,4	23,9	26,4
Wasserkraft	GW	kA	8,9	12,1	13,1	12,1	13,1	12,1	13,1
Kernenergie	GW	kA	24,0	23,4	22,4	23,4	22,4	23,4	22,4
andere Brennstoffe	GW	kA	2,5	1,8	2,2	1,8	2,2	1,8	2,2
Jahresvollbenutzungsdauer	h/a	kA	4325	4532	4593	4525	4570	4509	4412
Steinkohlen	h/a	kA	4358	4478	4584	4549	4641	4600	4273
Braunkohlen	h/a	kA	5898	6813	6795	6813	6795	6813	6795
Mineralöle	h/a	kA	727	1090	1108	1090	1108	1090	1108
Naturgase	h/a	kA	2096	2600	2800	2600	2800	2600	2800
Wasserkraft	h/a	kA	2718	2242	2252	2242	2252	2242	2252
Kernenergie	h/a	kA	6419	6624	6625	6624	6625	6624	6625
Spez. CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	t/TJ	66	63	63	64	62	63	61	59
Steinkohlen	t/TJ	92	92	92	92	92	92	92	92
Braunkohlen	t/TJ	112	111	111	111	111	111	111	111
Mineralöle	t/TJ	77	78	78	78	78	78	78	78
Naturgase	t/TJ	56	56	56	56	56	56	56	56
andere Brennstoffe	t/TJ	53	49	49	49	49	49	49	49
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mill. t	354	317	331	345	317	319	303,5	274,8
Steinkohlen	Mill. t	117	122	138	147	128	131	126	109
Braunkohlen	Mill. t	200	162	151	153	145	142	134	119
Mineralöle	Mill. t	8	6	7	6	7	6	7	6
Naturgase	Mill. t	19	19	27	30	28	31	28	31
andere Brennstoffe	Mill. t	10	9	9	9	9	9	9	9

Quellen: Prognos 1995; UBA; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DIW.



Tabelle 14:

### Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Fernwärmeerzeugung

	Ein- heit	Ist-Werte		Ohne-Maßn.-Sz.		Mit-Maßn.-Sz. <sup>1)</sup>		Mit-weiteren-M.-Sz.	
		1990	1995	2000	2005	2000	2005	2000	2005
FW-Verbrauch Endenergie	PJ	383	363	363	363	367	371	375	390
FW-Verbrauch Energiesektor	PJ	65	55	50	47	51	48	52	51
FW-Bruttoverbrauch = FW-Erzeugung	PJ	448	418	413	411	418	419	427	441
FW-Erzeugungsnutzungsgrad	%	90,4	101,9	103,4	109,5	103,4	109,5	104,0	110,0
Brennstoffeinsatz	PJ	496,0	410,3	399,8	375,1	403,8	382,8	410,4	400,6
Steinkohlen	PJ	92,9	116,2	105,7	103,3	106,8	105,4	108,5	110,3
Braunkohlen	PJ	218,6	81,3	66,9	45,2	67,6	46,1	60,5	36,2
Mineralöle	PJ	42,4	50,4	61,4	54,9	62,0	56,0	63,0	58,6
Naturgase	PJ	108,0	138,2	134,5	139,8	135,9	142,7	146,3	161,3
Kernenergie	PJ	4,3	1,0	0,6	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0
andere Brennstoffe	PJ	29,8	23,2	30,6	31,9	30,9	32,6	31,4	34,1
Brennstoffeinsatzstruktur	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Steinkohlen	%	18,7	28,3	26,4	27,5	26,4	27,5	26,4	27,5
Braunkohlen	%	44,1	19,8	16,7	12,0	16,7	12,0	14,7	9,0
Mineralöle	%	8,5	12,3	15,4	14,6	15,4	14,6	15,4	14,6
Naturgase	%	21,8	33,7	33,7	37,3	33,7	37,3	35,7	40,3
Kernenergie	%	0,9	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
andere Brennstoffe	%	6,0	5,7	7,7	8,5	7,7	8,5	7,7	8,5
Spez. CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	kg/GJ	86,5	77,2	74,3	71,8	74,3	71,8	73,2	70,1
Steinkohlen	kg/GJ	92	92	92	92	92	92	92	92
Braunkohlen	kg/GJ	111	112	110	110	110	110	110	110
Mineralöle	kg/GJ	76	75	75	75	75	75	75	75
Naturgase	kg/GJ	56	56	56	56	56	56	56	56
andere Brennstoffe	kg/GJ	26	17	17	17	17	17	17	17
Absolute CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mill. t	42,9	31,7	29,7	26,9	30,0	27,5	30,1	28,1
Steinkohlen	Mill. t	8,6	10,7	9,7	9,5	9,8	9,7	10,0	10,2
Braunkohlen	Mill. t	24,3	9,1	7,4	5,0	7,5	5,1	6,7	4,0
Mineralöle	Mill. t	3,2	3,8	4,6	4,1	4,6	4,2	4,7	4,4
Naturgase	Mill. t	6,0	7,7	7,5	7,8	7,6	7,9	8,1	9,0
andere Brennstoffe	Mill. t	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
Brutto- zu FW-Endenergieverbrauch	Faktor	1,17	1,15	1,14	1,13	1,14	1,13	1,14	1,13
Spezifische Emissionen bezogen auf									
Bruttoerzeugung	kg/GJ	95,6	75,8	71,9	65,5	71,9	65,5	70,4	63,7
Endverbrauch	kg/GJ	111,9	87,2	81,9	74,1	81,9	74,1	80,2	72,1
Brennstoffeinsatz	kg/GJ	86,5	77,2	74,3	71,8	74,3	71,8	73,2	70,1

<sup>1)</sup> Entspricht weitgehend dem Prognos-Szenario.

Quellen: Prognos 1995; UBA; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Berechnungen des DIW.

## 2.2 Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien<sup>16</sup>

Ein wichtiges Klimaschutzpolitisches Handlungsfeld stellen erneuerbare Energiequellen dar. Sie werden hier innerhalb des Energiesektors behandelt, da ein großer Teil ihrer Nutzungsmöglichkeiten im Bereich der Elektrizitätswirtschaft liegt. Erneuerbare Energiequellen werden allerdings auch in mehr oder weniger großem Umfang unmittelbar in den Endenergiesektoren eingesetzt. Aus pragmatischen Gründen werden sie hier aber zusammenfassend dargestellt.

<sup>16</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

### 2.2.1 Bisherige Nutzung und Status-Quo-Prognose

Erneuerbare Energiequellen tragen bisher nur in geringem Maße zur Energieversorgung in Deutschland bei. Gemessen am Primärenergieäquivalent - und bewertet nach der Substitutionsmethode - hatten sie im Jahr 1992 mit insgesamt 318 PJ einen Anteil von 2,3 %. Es handelt sich überwiegend um Wasserkraft, Holz und Müll. Zwei Drittel des Beitrags erneuerbarer Energien zur Deckung des Primärenergieverbrauchs dienen der Stromerzeugung. Damit werden 4,5 % der gesamten Stromerzeugung erreicht (3,2 % Wasserkraft, 1,1 % Müll).

Die bisherige Nutzung erneuerbarer Energien spiegelt weitgehend die wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten in Deutschland wider. Während Wasserkraft, Restholz und Müll seit langem Niederschlag in den Energiebilanzen finden, werden neuere Systeme, die im allgemeinen hohe Investitionen erfordern, noch wenig genutzt. Auch die künftigen Nutzungschancen hängen sehr stark davon ab, in welchem Maße erneuerbare Energien staatliche gefördert werden.

Nach der vorliegenden Prognose der energiewirtschaftlichen Entwicklung (Prognos 1995) werden erneuerbare Energien künftig „einen deutlich wachsenden Beitrag zur Wärme- und Stromversorgung in Deutschland leisten“. Im Vergleich zu den technischen Möglichkeiten und den ökologischen Vorteilen der Systeme wird unter Status-Quo-Bedingungen aber nur eine geringe Ausschöpfung der Potentiale erwartet, da viele Anwendungsfälle - ohne weitere Förderung - einzelwirtschaftlich nicht rentabel sind. Angesichts einer „moderaten“ Entwicklung der Energiepreise ändert sich dieses Bild bei einer Reihe von Techniken auf mittlere Sicht nur wenig.

Die Prognose geht im Grundsatz von den heutigen energiepolitischen Rahmenbedingungen aus. Hierzu zählen vor allem die bereits umgesetzten bundespolitischen Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien wie das Stromeinspeisungsgesetz. Berücksichtigt werden auch Impulse, die von Demonstrationsprogrammen ausgelöst wurden. Daneben werden in der Regel nur erkennbare Initiativen auf regionaler und lokaler Ebene in Rechnung gestellt. Die Schätzung der künftigen Nutzung von Photovoltaik beruht auf Überlegungen zu einer begrenzten kostendeckenden Vergütung.

Nach den Ergebnissen der Prognose (vgl. Tabelle 15) erhöht sich der Beitrag erneuerbarer Energien in Deutschland bis zum Jahr 2020 um rund 60 % auf 514 PJ, dies sind 3,6 % des Primärenergieverbrauchs. Bis zum Jahr 2005 wird ein Beitrag von 432 PJ oder 3,0 % erwartet; gegenüber dem Jahr 1992 wäre dies eine Zunahme um 36 %.

Tabelle 15:

### Projektion des Beitrags erneuerbarer Energiequellen in Deutschland

	Wärme- und Stromerzeugung in PJ						Primärenergieäquivalente in PJ					
	1992	2000	2005	2010	2015	2020	1992	2000	2005	2010	2015	2020
<b>Wärmebereitstellung</b>												
Holz, Stroh	43,6	49,6	53,4	56,7	58,1	60,6	59,7	60,5	63,6	66,7	67,5	69,7
Umgebungswärme	4,9	6,3	7,3	8,7	10,6	12,0	6,7	7,7	8,7	10,2	12,3	13,8
Solarthermische Energie	0,6	1,7	3,5	6,1	9,5	12,5	1,1	3,1	6,0	10,0	15,3	19,8
Summe	49,1	57,6	64,2	71,5	78,1	85,1	67,6	71,2	78,2	86,9	95,1	103,2
<b>Fern-/Nahwärmeerzeugung</b>												
Holz, Stroh, Energiegras	1,8	3,0	3,9	5,3	7,4	9,3	1,8	2,8	3,5	4,6	6,2	7,5
Müll, Klärschlamm, Deponiegas	19,2	22,8	24,7	26,6	28,2	29,9	18,5	20,7	21,9	22,9	23,5	24,3
Klär-, Biogas	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Summe	21,2	26,2	29,0	32,3	36,0	39,7	20,5	23,8	25,8	27,9	30,1	32,2
<b>Stromerzeugung</b>												
Wasserkraft	62,3	67,2	69,6	71,9	73,0	73,6	163,3	171,8	173,6	174,8	173,8	170,4
Windenergie	1,3	14,5	19,7	23,3	25,6	27,1	3,4	37,1	49,1	56,6	61,0	62,8
Photovoltaik	0,0	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	0,0	0,6	1,1	1,6	2,1	2,5
Holz	1,7	3,5	4,9	6,9	9,0	10,5	4,4	9,1	12,5	17,2	22,1	24,9
Stroh, Energiegras	0,0	0,0	0,1	0,3	0,9	1,6	0,0	0,1	0,3	0,7	2,2	3,8
Müll, Klärschlamm	21,0	26,6	34,6	41,3	44,2	46,4	56,3	69,9	88,3	102,8	107,8	110,1
Deponiegas	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	2,5	2,6	2,5	2,3	2,2	2,1
Klär-, Biogas	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,4	0,8	1,0	1,2	1,4	1,4
Summe in PJ	87,4	113,3	130,7	145,7	155,1	161,8	230,4	291,8	328,4	357,3	372,5	378,1
Summe in TWh	24,3	31,5	36,3	40,5	43,1	44,9						
Gesamtbeitrag	157,7	197,2	223,9	249,5	269,3	286,5	318,4	386,8	432,3	472,1	497,7	513,5

Quelle: Prognos 1995.

Der größte Zuwachs wird für den Bereich der Stromerzeugung vorhergesagt. Die regenerative Stromerzeugung erhöht sich von 24,3 TWh im Jahr 1992 auf 36,3 TWh im Jahr 2005 und 44,9 TWh im Jahr 2020. Bewirkt wird diese Entwicklung im wesentlichen durch eine stärkere Nutzung von Windkraft, Müll, Wasserkraft und Holz. Bei der Bereitstellung von Wärme gewinnen neben Holz und Müll vor allem (thermische) Solarkollektoren und Wärmepumpen mehr und mehr an Bedeutung.

### 2.2.2 Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien

Die Bundesregierung hat in der Vergangenheit zahlreiche Maßnahmen ergriffen, die direkt oder indirekt die Nutzung erneuerbarer Energiequellen im Inland wie im Ausland fördern. Gleichzeitig haben die Europäische Union, Länder und Gemeinden sowie einzel-

ne Unternehmen zum Teil große Anstrengungen in diesem Bereich unternommen. Hinzu kommen unterschiedliche private Initiativen, die vorwiegend ökologisch motiviert sind. Die Bedeutung, die erneuerbaren Energien in den verschiedenen Ressorts auf der Ebene der Bundespolitik zugemessen wird, wird auch dadurch deutlich, daß ein großer Teil der Maßnahmen, die im ersten Nationalbericht der Bundesrepublik Deutschland genannt sind, erneuerbaren Energien zugute kommen (BMU 1994).

Tabelle 16 gibt einen Überblick über bisher beschlossene oder geplante bundespolitische Maßnahmen, die für die Nutzung erneuerbarer Energien relevant sind. Die Vielfalt dieser politischen Instrumente umfaßt technikübergreifende und technikspezifische Maßnahmen mit unterschiedlicher Eingriffsintensität des Staates. Es handelt sich überwiegend um preispolitische Maßnahmen, Zuschüsse zur Demonstration, Erprobung und Anwendung, um Forschungsförderung und um unterschiedliche Maßnahmen zur Information und zur Beseitigung von Hemmnissen. Die Maßnahmen sind an unterschiedliche Akteure und Zielgruppen gerichtet, wie Haushalte, Industrieunternehmen, EVU, Kommunen, bestimmte Anlagenbetreiber, öffentliche Einrichtungen und die Wissenschaft. In der Tabelle sind jeweils die Arten erneuerbarer Energien angekreuzt, die durch die einzelnen Maßnahmen speziell begünstigt werden. Allgemeine Maßnahmen wie die Förderung der Information über erneuerbare Energien betreffen in der Regel sämtliche Nutzungsarten; in diesen Fällen ist auf eine Kennzeichnung verzichtet worden.

In Tabelle 17 sind quantitative Schätzungen der Wirkungen ausgewählter bisheriger und zusätzlicher Maßnahmen zusammengefaßt. Die Beiträge stromerzeugender Systeme zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen beruhen im wesentlichen auf Schätzungen der geförderten Nennleistung. Durch Multiplikation mit der hierauf bezogenen Jahresausnutzungsdauer ergibt sich die geschätzte jährliche Stromerzeugung. Die Emissionsverminderung wird hier durchgängig unter der Annahme einer Substitution von Strom aus Steinkohlekraftwerken mit einem Jahresnutzungsgrad von 40 % bewertet. Nach STE (1992) beträgt der brennstoffbezogene CO<sub>2</sub>-Faktor für Steinkohle 0,093 kg CO<sub>2</sub>/MJ oder 0,3348 kg CO<sub>2</sub>/kWh; auf die Stromerzeugung bezogen errechnet sich hieraus eine spezifische Emission von 0,837 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Bei wärmeerzeugenden Systemen ist - soweit nicht anders angegeben - ein über Gas und Öl gemittelter Faktor von 0,234 kg CO<sub>2</sub>/kWh zugrunde gelegt worden.



Tabelle 16:

## Einzelmaßnahmen des Bundes zur Förderung erneuerbarer Energien

Nr.	Maßnahme	Wind- kraft	Photo- voltaik	Wasser- kraft	Solar- kollekt.	Wärme- pumpe	Bio- masse	Geo- thermie
3	Stromeinspeisungsgesetz	x	x	x			x	
6	Förderung erneuerbarer Energien	x		x	x			(x)
7	ERP-Energiesparprogramm	x	(x)	x	(x)		x	
10	Information über die Nutzung erneuerbarer Energien							
12	4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV)	x						
31	Vor-Ort-Beratung der sparsamen und rationellen Energieverwendung in Wohngebäuden		x		x	x		
32	Fördergebietsgesetz gemäß Steueränderungs- und Standortsicherungsgesetz		x		x	x		
43	Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energien	x	x		x	x	x	
44	Förderprogramm Photovoltaik 1.000-Dächer-Programm		x					
45	Förderung der Erprobung von Windenergieanlagen "250 MW Wind"	x						
46	Programm "Solarthermie 2000"				x			
47	Forschung und Entwicklung zur Nutzung der Solartechnik		x		x			
48	Forschung und Entwicklung zu Sekundärenergiesystemen							
53	Modellversuch "Wärme- und Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen"						x	
54	Geothermie							x
55	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes"						x	
56	Flächenstilllegungsprämie						(x)	
62	Steuerbefreiung vom Rapsmethylester (RME)						x	
65	Verpackungsverordnung							
66	Technische Anleitung Siedlungsabfall						x	
67	Technische Anleitung Abfall, Teil 1						x	
68	Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz						x	
69	Verbesserung der Aus- und Fortbildung von Architekten, Ingenieuren, Technikern, Handwerkern							
71	Investitionsprogramm des BMU							
72	KfW-Umweltprogramm	x		x			x	
73	Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank	x		x			x	
77	Beratung durch die Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände							
78	Förderung von Unternehmensberatung für kleine und mittlere Unternehmen							
81	Kommunalkreditprogramm	x					x	
83	Fachinformation für rationelle Energieverwendung und den Einsatz erneuerbarer Energien							
85	Novelle der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI)							
88	Umweltzeichen		x					
103	Privilegierung der erneuerbaren Energien im Baugesetzbuch	x						
104	Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis							
105	Verbesserung der Aus-, Fort- und Weiterbildung							
106	Information über Drittmittelfinanzierung							
107	Einführung einer EU-weiten CO <sub>2</sub> -/Energiesteuer							
109	Parlaments- und Regierungsviertel in Berlin							
110	Selbstverpflichtungen der deutschen Wirtschaft							
112	Förderprogramm für erneuerbare Energien (vgl. 6)	x	x	x	x	x	x	(x)
115	Ökozulagen bei der Wohnneigentumsförderung				x	x		

Tabelle 17:

## Quantifizierung der Wirkung ausgewählter Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien im Jahre 2005

Maßnahmen	Strom					Wärme				Gesamt		
	Windkraft	Photovoltaik	Wasserkraft	Müll, Biomasse u.a.*)	Summe	Solar Kollektor	Wärmepumpe	Müll, Biomasse u.a.	Summe	Energiegewinn	CO <sub>2</sub> -Einsparung	Bundesmittel
	TWh/a									TWh/a	Mill. t/a	Mill. DM
<b>Bisherige Maßnahmen</b>												
3 Stromeinspeisungsgesetz	4,000	0,080	2,000	1,667	7,747	-	-	-	-	7,747	6,484	-
6 Förderprogramm BMWi 1994/95	0,051	-	0,012	-	0,063	0,015	-	-	0,015	0,078	0,056	20
43 BMBF-Demonstration Wind, PV	0,026	0,001	-	-	0,027	-	-	-	-	0,027	0,023	31
44 1000-Dächer-PV-Programm	-	0,004	-	-	0,004	-	-	-	-	0,004	0,003	95
45 250-MW-Wind	0,672	-	-	-	0,672	-	-	-	-	0,672	0,562	400
46 Solarthermie 2000	-	-	-	-	0,000	0,010	-	-	0,010	0,010	0,002	
54 Geothermie	-	-	-	-	0,000	-	-	0,150	0,150	0,150	0,035	
110 Selbstverpflichtungen										....	5,500	-
112 Förderprogramm BMWi 1995/1998	0,072	0,002	0,036	-0,109	0,000	0,028	0,394	0,189	0,612	0,612	0,143	99
<b>Weitere Maßnahmen</b>												
Vorschlag aus BMWi-Gesprächszirkel 6	5,500	0,048	1,600	1,950	9,098	0,806	0,639	5,833	7,278	16,376	9,318	4000
100 000-Dächer-PV-Programm	-	0,200	-	-	0,200	-	-	-	0,000	0,200	0,167	2500
Summe bisheriger Maßnahmen	4,821	0,087	2,048	1,558	8,513	0,053	0,394	0,339	0,787	9,300	12,809	645
Summe zusätzlicher Maßnahmen	5,500	0,248	1,600	1,950	9,298	0,806	0,639	5,833	7,278	16,576	9,485	6500
<b>Nachrichtlich: (Prognos 1995)</b>												
Prognose für 2005	5,472	0,111	19,333	11,389	36,306	0,972	2,028	22,889	25,889	62,194	36,446	
Prognose für 2000	4,028	0,056	18,667	8,722	31,472	0,472	1,750	21,056	23,278	54,750	31,789	
Stand im Jahr 1992	0,361	0,001	17,306	6,611	24,278	0,167	1,361	18,000	19,528	43,806	24,890	
Differenz 2005 zu 1992	5,111	0,110	2,028	4,778	12,028	0,806	0,667	4,889	6,361	18,389	11,556	
Anmerkungen und Quellen siehe Text.												
*) Bei Maßnahme 112 abzüglich Stromverbrauch für Wärmepumpen.												

Durch die nach der Status-Quo-Prognose im Jahr 2005 zu erwartende Nutzung erneuerbarer Energien wird insgesamt eine Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen von 36 Mill. t bewirkt. Ein großer Teil dieses Beitrages würde auch ohne energie- und umweltpolitische Maßnahmen realisiert. Die bisher ergriffenen Maßnahmen tragen hierzu - soweit Quantifizierungen möglich sind - in der Summe mit 12,8 Mill. t bei. Diese Angabe sollte allerdings nur als Orientierungsgröße verstanden werden. Aufgrund von gewissen Doppelzählungen dürften die direkten Wirkungen der berücksichtigten Maßnahmen insgesamt kleiner sein; andererseits kommen indirekte Effekte von Maßnahmenkombinationen hinzu.

Durch weitere Maßnahmen könnte der Reduktionsbeitrag erneuerbarer Energien im Jahr 2005 gegenüber der Status-Quo-Prognose beträchtlich gesteigert werden. Die zusätzliche Wirkung der hier betrachteten weiteren Maßnahmen wird auf 9,5 Mill. t CO<sub>2</sub> geschätzt.

In den folgenden Abschnitten werden die quantitativen Wirkungen von technikübergreifenden und technikspezifischen Maßnahmen im einzelnen erläutert. Darüber hinaus werden Hinweise für die Wirkungsweise von qualitativen Maßnahmen gegeben, die insbesondere im Rahmen von integrierten Strategien in Kombination mit anderen politischen Instrumenten von Bedeutung sind.

### **2.2.3 Wirkungen bisher ergriffener Maßnahmen**

#### **2.2.3.1 Vergütungsregelungen**

##### *Stromeinspeisungsgesetz (Maßnahme 3)*

Nach dem Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Stromeinspeisungsgesetz) vom 7.12.1990 sind die Elektrizitätsversorgungsunternehmen verpflichtet, den in ihrem Versorgungsgebiet erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien abzunehmen und den eingespeisten Strom mindestens nach den vorgegebenen Sätzen zu vergüten. Das Gesetz gilt nach der Änderung vom 19.7.1994 für Strom, der aus Wasserkraft, Windkraft, Sonnenenergie, Deponiegas, Klärgas oder aus Produkten oder biologischen Rest- und Abfallstoffen der Land- und Forstwirtschaft oder der gewerblichen Be- und Verarbeitung von Holz gewonnen wird. Ausgenommen sind bestimmte Anlagen mit

einer Leistung über 5 MW sowie Anlagen, die zu über 25 % dem Bund, einem Land, öffentlichen EVU oder mit ihnen aktienrechtlich verbundenen Unternehmen gehören.

Für Strom aus Sonnenenergie und Windkraft beträgt die Vergütung mindestens 90 % des Durchschnittserlöses je kWh aus der Stromabgabe von Energieversorgungsunternehmen an alle Letztverbraucher. Für alle anderen Anlagen beträgt dieser Satz seit 1994 mindestens 80 % (vorher 75 %). Strom aus Wasserkraftanlagen mit einer Leistung über 500 kW muß zum Teil mindestens mit 80 % und zum Teil mindestens mit 65 % des Durchschnittserlöses vergütet werden. Der Mindestpreis für ein Jahr richtet sich nach dem Durchschnittserlös des vorletzten Jahres. Im Jahr 1996 gelten danach folgende Mindestsätze (BMWi, 11.1.1996):

- für Strom aus Sonnenenergie und Windkraft 17,21 Pf/kWh
- für Strom aus allen anderen Anlagen 15,30 Pf/kWh und
- für einen Teil des Stroms aus größeren Wasserkraftanlagen 12,43 Pf/kWh.

Das Stromeinspeisungsgesetz wird insbesondere von der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke auch unter verfassungsrechtlichen Aspekten kritisiert. Sowohl der Prognose als auch der Wirkungsschätzung liegt die Annahme zugrunde, daß die Einspeisungs- und Vergütungsregelungen in der gegenwärtigen oder in einer rechtlich modifizierten, aber gleichwertigen Form auch künftig gültig bleiben.

Die Wirkung des Stromeinspeisungsgesetzes auf die bisherige und künftige regenerative Stromerzeugung und die dadurch bewirkte Emissionsreduktion ist nicht einfach zu berechnen. Der unmittelbare Effekt besteht in einer Verbesserung der Erlösentwicklung während der Lebensdauer der Anlagen. Hiervon profitieren Betreiber bestehender Anlagen ebenso wie Investoren, die ohnehin Anlagen errichten würden. In beiden Fällen entstehen insofern Mitnahmeeffekte. Die angestrebte Wirkung besteht hingegen in der Mobilisierung zusätzlicher Investitionen. Ein solcher Anreiz wird vor allem bei solchen Vorhaben wirksam, die an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit stehen. Während auf der einen Seite wesentlich günstigere Projekte auch ohne erhöhte Vergütung realisiert würden, ändert sich die ökonomische Bewertung von sehr teuren Projekten hierdurch allein nur wenig. Hierbei ist aber auch zu beachten, daß die Vergütungshöhe in Kombination mit anderen Fördermaßnahmen auch bei größeren Differenzen zwischen Preis und Kosten

von entscheidender Bedeutung sein kann. Dies ist vor allem an der Entwicklung der Windenergie in Deutschland erkennbar geworden. Unabhängig von der Höhe der Vergütung spielt das Stromeinspeisungsgesetz auch schon allein deshalb eine wesentliche Rolle, weil hiermit die Energieversorgungsunternehmen zur Abnahme von elektrischer Energie verpflichtet werden.

Die bisherige Wirkung des Einspeisungsgesetzes, das am 1.1.1991 in Kraft getreten ist, läßt sich besonders deutlich an dem Ausbau der Windenergie in den letzten Jahren ablesen, der zugleich durch das 250-MW-Programm des BMBF und zusätzliche Programme der Bundesländer forciert wurde. Ende 1995 waren bereits 3 655 Windkraftanlagen mit einer Leistung von 1 136,5 MW in Betrieb (Knud 1996). Bei der gültigen Mindestvergütung sind mittlerweile zahlreiche Projekte - vor allem im küstennahen Bereich - auch ohne Zuschüsse wirtschaftlich. Andere Projekte konnten durch die Kombination mehrerer Maßnahmen verwirklicht werden. Die Realisierung hierdurch ermöglichter erfolgreicher Vorhaben hat auch positive Ausstrahlungseffekt auf die weitere Entwicklung erneuerbarer Energien. Denn künftige Betreiber profitieren sowohl von der Demonstration des Betriebs als auch von den verbesserten Angebotsbedingungen hinsichtlich technischer Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Kosten.

Die direkte Wirkung des Stromeinspeisungsgesetzes auf die Entwicklung bis zum Jahr 2005 ist von Technik zu Technik unterschiedlich einzuschätzen. In Tabelle 18 ist die von dieser Maßnahme voraussichtlich insgesamt begünstigte Stromerzeugung geschätzt worden. Es ist insbesondere berücksichtigt, daß Strom aus EVU-Anlagen von der Maßnahme nicht erfaßt wird.

Der dargestellte Umfang orientiert sich an einer Status-Quo-Entwicklung, er setzt aber zum Teil andere, zumindest flankierende Maßnahmen voraus. Bei Wind- und Wasserkraft bestehen diese vor allem in einem Abbau von Hemmnissen, die in jüngster Zeit immer deutlicher zutage getreten sind (Diekmann 1996), und bei der Photovoltaik sind zumindest regionale Förderinitiativen vorausgesetzt. Der isolierte Mobilisierungseffekt der erhöhten Vergütung wird bei der Photovoltaik gering bleiben, da im Analysezeitraum nicht mit so hohen Kostensenkungen zu rechnen ist, daß für netzverbundene Anlagen die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreicht werden könnte. Zu Mitnahmeeffekten kommt es vor

allem bei Strom aus bereits bestehenden Wasserkraftanlagen. Auf eine Bereinigung der durch diese Maßnahme begünstigten Stromerzeugung von knapp 8 TWh im Jahr 2005 um Mitnahmeeffekte und Kombinationswirkungen wird hier verzichtet, zumal die Maßnahmenwirkung bereits vollständig in der Status-Quo-Prognose eingerechnet ist.

Tabelle 18:

**Schätzung der Wirkung des Stromeinspeisungsgesetzes  
im Jahre 2005 (Maßnahme 3)**

		Wind- kraft	Photo- voltaik	Wasser- kraft	Sonstige Systeme	Summe
Vergütungssatz	%	90	90	80 / 65	80	
Begünstigte Leistung	kW	2000000	100000	500000		
Anlagengröße	kW/Anlage	500	3	100		
Begünstigte Anlagen	Anlagen	4000	40000	5000		
Ausnutzung	h/a	2000	800	4000		
Stromerzeugung	TWh/a	4,000	0,080	2,000	1,667	7,747
	PJ/a	14,400	0,288	7,200	6,000	27,888
Emissionsfaktor	kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,837	0,837	0,837	0,837	3,348
Emissionsminderung	Mill. t CO <sub>2</sub>	3,348	0,067	1,674	1,395	6,484
Anmerkung 1: Begünstigt sind Nicht-EVU-Anlagen.						
Anmerkung 2: Wirkung ergibt sich nur in Kombination mit anderen Maßnahmen.						
Anmerkung 3: Isolierter Mobilisierungseffekt ist bei Photovoltaik gering.						
Anmerkung 4: Beträchtliche "Mitnahmeeffekte" bei Wasserkraftanlagen.						
Quelle: Schätzungen des DIW.						

### *Kostendeckende Vergütung*

Die Förderung erneuerbarer Energien - insbesondere der Photovoltaik - durch eine kostendeckende Vergütung ist keine bundespolitische Maßnahme, sondern eine freiwillige Maßnahme von Energieversorgungsunternehmen im Rahmen der Bundestarifordnung Elektrizität (BTOElt) und Richtlinien der Bundesländer zur Strompreisaufsicht. Die Initiative geht hierbei in der Regel von den Kommunen aus, die gesellschaftsrechtlich auf die EVU Einfluß nehmen können. Nach dem Konzept der kostendeckenden Vergütung bezahlen EVU für Stromeinspeisungen einen Preis, mit dem eine technisch optimierte Solaranlage des gleichen Baujahres finanziert und betrieben werden kann; die Mehrkosten, die dem EVU hierdurch entstehen, dürfen auf den Strompreis für alle Kunden umgelegt werden (Aachener Modell, SFV 1996). Eine kostendeckende Vergütung für Strom aus Photovoltaikanlagen liegt in Deutschland gegenwärtig bei 2 DM/kWh. In einem Rechtsgutachten (Immienga) ist eine hierzu erforderliche Erhöhung der Tarife bis etwa 5 % für genehmigungsfähig angesehen worden.

In einer Reihe von Gemeinden werden bereits kostendeckende Vergütungen (KV) oder gegenüber der Mindestvergütung des Stromeinspeisungsgesetzes deutlich erhöhte Vergütungen gezahlt. Die Voraussetzungen sind jedoch von Land zu Land unterschiedlich (SFV 1996).

- In Baden-Württemberg dürfen sich die Strombezugspreise der EVU zugunsten von KV um bis zu 3% und danach die Stromverkaufspreise um etwa 1 % erhöhen.
- In Bayern gilt hierfür eine Obergrenze von 0,15 Pf/kWh, dies entspricht einer Tarifierhöhung von 0,6%.
- Das hessische Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten hat KV ohne Festlegung einer Obergrenze für zulässig erklärt.
- In Niedersachsen wird eine freiwillig erhöhte Einspeisevergütung akzeptiert, solange die Erhöhung der Strompreise aller Kunden unter 1% bleibt.
- In Nordrhein-Westfalen dürfen EVU Mehrkosten bis zu einer Strompreiserhöhung von 1% auf den Strompreis umlegen. Auch Sondertarifikunden sind zu belasten. Keine der erneuerbaren Energien (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse) darf so bevorzugt werden, daß mehr als die Hälfte aller Mehrausgaben auf sie entfällt.
- Die Grundsätze der Strompreisaufsicht in Schleswig-Holstein lehnen sich an die aus Nordrhein-Westfalen an.

Kostendeckende oder zumindest gegenüber der gesetzlichen Regelung deutlich erhöhte Vergütungen finden zunehmende Verbreitung. In zahlreichen Gemeinden liegen bereits entsprechende Beschlüsse vor. Prognos (1995) geht bei der Schätzung der künftigen Photovoltaik-Nutzung von einer Strompreisbelastung von 5 % aus. Bei heutigen Kostenverhältnissen wird hieraus eine „energiepolitische Obergrenze“ des Photovoltaikanteils an der gesamten Stromerzeugung von 0,5 % oder 2,5 TWh/a abgeleitet, die nach Prognos bis 2020 zu einem Zehntel ausgeschöpft wird. Insoweit sind kostendeckende Vergütungen in der Status-Quo-Projektion bereits berücksichtigt. Im Jahr 2005 wird insgesamt eine Stromerzeugung von 0,4 PJ oder 0,111 TWh erwartet; dem entspricht eine Minderemission von 0,092 Mill. t CO<sub>2</sub>.

### 2.2.3.2 Förderprogramm des BMWi zur Nutzung erneuerbarer Energien

#### *Maßnahmen 6 und 112*

Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird vom Bundesministerium für Wirtschaft seit 1994 mit Hilfe von Investitionskostenzuschüssen gemäß Richtlinien (1) vom 22.12.1993, (2) vom 12.12.1994 und (3) vom 1.8.1995 gefördert. Hiermit sollen Markt-anreize gegeben und durch vermehrte Nachfrage Kostendegressionen bewirkt werden. Der Einsatz erneuerbarer Energien soll verstärkt werden, weil die Energieressourcen begrenzt sind und Umwelt sowie Klima geschützt werden müssen. Die Förderung der Photovoltaik wird auch industrie- und entwicklungspolitisch begründet.

Nach den *ersten* Richtlinien sind bestimmte Solarkollektoren, geothermische Heizzentralen, Wasserkraftanlagen und Windkraftanlagen bezuschußt worden. In den *zweiten* Richtlinien werden geothermische Heizzentralen nicht mehr berücksichtigt. Nach den *dritten* Richtlinien werden Zuwendungen für bestimmte Solarkollektoren, Wärmepumpen (auch zur Nutzung von oberflächennaher Erdwärme), Wasserkraftanlagen, Windkraftanlagen, Photovoltaikanlagen und Anlagen zur Nutzung von fester Biomasse sowie von Biogas gewährt. Einen Überblick über wesentliche Fördervoraussetzungen gibt Tabelle 19.

Im Maßnahmenkatalog der Bundesregierung (BMU 1994) wird dieses Förderprogramm als Maßnahme 6 für 1994 als beschlossene Maßnahme und für die Jahre 1995 bis 1998 als geplante Maßnahme dargestellt. Als Maßnahme 6 werden hier die Zuwendungen in den Jahren 1994 und 1995 nach den Richtlinien (1) und (2) und als Maßnahme 112 die Förderung in den Jahren 1995 bis 1998 nach den Richtlinien (3) behandelt. Die Förder-summen betragen 20 Mill. DM für Maßnahme 6 und knapp 100 Mill. DM für Maßnahme 112.

Die Wirkungen dieser Richtlinien auf die Nutzung erneuerbarer Energien wird in Tabelle 20 auf der Basis einer speziellen Untersuchung zur Evaluation dieses Förderprogrammes durch ISI im Auftrag des BMWi dargestellt (ISI 1996).

Mit den ersten beiden Richtlinien werden danach eine Stromerzeugung von 0,062 TWh/a und eine Wärmeerzeugung von 0,015 TWh/a gefördert. Damit wird insgesamt eine



Emissionsminderung von 0,056 Mill. t CO<sub>2</sub> bewirkt. Den größten Beitrag leistet hierbei die Windkraft.

Tabelle 19:

**Richtlinien des BMWi zur Förderung von Maßnahmen  
zur Nutzung erneuerbarer Energien**

	(1) Richtlinien vom 27.12.1993	(2) Änderung vom 12.12.1994	(3) Richtlinien vom 1.8.1995 (1995-1998)
<i>In Kraft</i>	<i>ab 1.1.1994</i>	<i>ab 1.1.1994</i>	<i>ab 1.7.1995 (Für Solarkollektoren, Wasserkraft- anlagen, Windkraftanlagen Fördermittel erst ab 1996)</i>
<i>Antragsfrist</i>	<i>bis 15.10.1994</i>	<i>1.1.1995 bis 30.6.1995</i>	<i>zunächst bis 31.12.1996</i>
<i>Betriebs- bereitschaft</i>	<i>bis 30.11.1994</i>	<i>bis 15.10.1995</i>	<i>jeweils bis 15.11.</i>
Solarkollektor- anlagen	Errichtung und Erweiterung von Anlagen, Kollektorfläche 3-100 m <sup>2</sup> , ohne Kollektoren für Schwimmbäder EFH 1500 DM/m <sup>2</sup> , sonst 250 DM/m <sup>2</sup>	außerdem Bauartzulassung und Mindestleistung von 350 kWh/m <sup>2</sup>	Errichtung und Erweiterung von Anlagen, Mindestleistung 350 kWh/m <sup>2</sup> (bei 40 % solar. Deckungsgrad), ohne Kollektoren für Schwimmbäder  EFH ab 3 m <sup>2</sup> 1500 DM, sonst 250 DM/m <sup>2</sup> für 20 m <sup>2</sup> und 125 DM/m <sup>2</sup> für zusätzliche Koll.fläche, Erweiterung 150 DM/m <sup>2</sup> ; maximal 50 000 DM je Einzelanlage
Wärmepumpen- anlagen	-	-	Errichtung und Erweiterung von Anlagen, einschl. solcher für Erdwärme bis 400 m, H-FCKW-frei, Mindestarbeitszahlen 3,2 (1995), 3,5 (1998) , Mindestheizzahl 1,3  300 DM/kW, maximal 20 000 DM je Einzelanlage
Wasserkraft- anlagen	Errichtung, Erweiterung , Reaktivierung bis 500 kW  2000 DM/kW, maximal 250 000 DM je Anlage	-  800 DM/kW, maximal 200 000 DM je Anlage	Errichtung, Erweiterung , Reaktivierung bis 500 kW  1500 DM/kW, Erweiterung 600 DM/kW; maximal 200 000 DM je Einzelanlage
Windkraft- anlagen	Errichtung von Anlagen 450-1000 kW, bis 5,5 m/s (in 10 m)  200 DM/kW, maximal 100 000 DM je Anlage	bis 5,0 m/s (in 10 m)	Errichtung von Anlagen 450-2000 kW, bis 4,5 m/s (in 10 m)  200 DM/kW, maximal 100 000 DM je Einzelanlage, 200 000 DM bei mehreren Anlagen und 300 000 DM bei Windparks von mehreren Betreibern, bei Anlagen ab 1 MW um 50 000 DM höhere Höchstbeträge
Photovoltaik- anlagen	-	-	Errichtung und Erweiterung von Anlagen ab 1 kW Nennleistung, einschl. "Sonne in der Schule"  7000 DM/kW, maximal 70 000 DM je Anlage
Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse	-	-	Errichtung und Erweiterung von Anlagen mit Feuerungsleistung ab 15 kW (Holz) oder 100 kW (sonstige), Holzfeuerungsanlage bis 1 MW nur bedingt; Kumulierung begrenzt erlaubt  250 DM/kW Feuerungswärmeleistung , maximal 200 000 DM je Anlage
Anlagen zur Gewinnung von Biogas	-	-	Errichtung und Erweiterung von Anlagen zur Verwendung überwiegend landwirtschaftlicher Abfälle, ab 50 m <sup>3</sup> Faulraum  200 DM/m <sup>3</sup> , maximal 200 000 DM je Anlage
Geothermische Heizzentralen	Wiederherstellung von Anlagen, Kumulierung erlaubt bis 90 % bis zu 50 % der Ausgaben	-	vgl. Wärmepumpen

Tabelle 20:

**Schätzung der direkten Wirkung des Programmes des BMWi  
zur Förderung erneuerbarer Energien (Maßnahmen 6 und 112)**

	Förderung	Investition	Leistung	Strom- erzeugung	Wärme- erzeugung	Emissions- minderung
	Mill. DM		kW*	TWh/a		Mill. t CO <sub>2</sub>
1. und 2. Richtlinien für 1994/95 (Maßnahme 6)						
Wasserkraft	3,0	15,4	2594	0,012		0,010
Windkraft	4,6	60,3	25300	0,051		0,042
Solarkollektor	12,2	86,0	51252		0,015	0,004
Summe	19,7	161,6	-	0,062	0,015	0,056
3. Richtlinien für 1995/98 (Maßnahme 112)						
Wasserkraft	6,0	31,0	7931	0,036		0,030
Windkraft	6,0	78,6	36000	0,072		0,060
Photovoltaik	18,0	41,9	2571	0,002		0,002
Solarkollektor	22,5	144,8	92779		0,028	0,007
Biomasse	19,5	51,4	78112		0,187	0,044
Biogas	8,5	18,2	42495	0,014	0,002	0,012
Wärmepumpe	18,0	89,3	61538	-0,123	0,394	-0,011
Summe	98,5	455,3	-	0,000	0,612	0,143
Abweichungen in den Summen durch Rundungen.						
* Die Leistung von Solarkollektoren ist in m <sup>2</sup> und die von Biogasanlagen in m <sup>3</sup> angegeben.						
Quellen: ISI (1996), Berechnungen des DIW.						

Bei der Förderung nach den dritten Richtlinien vom August 1995 stehen wärmeerzeugende Systeme im Vordergrund. Auf die stromerzeugenden Systeme Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik entfallen rund 30 Mill. DM, davon 18 Mill. DM allein auf (rund 1000) Photovoltaikanlagen. Aufgrund der Kostenunterschiede hat unter den stromerzeugenden Systemen gemessen an der geförderten Leistung und Stromerzeugung dennoch die Windkraft den größten Anteil. Zusammen mit Biogas ergibt sich eine direkt geförderte Stromerzeugung von 0,123 TWh pro Jahr. Unter den wärmeerzeugenden Systemen haben Solarkollektoren den größten Anteil an der Förderung. Gemessen am Energieertrag haben aber Biomasse und Wärmepumpen das größte Gewicht. Der Netto-Beitrag von Wärmepumpen zur CO<sub>2</sub>-Minderung hängt sehr stark von der zurechenbaren Brennstoffstruktur bei der Stromerzeugung und den substituierten Energieträgern bei der Wärmeerzeugung ab. Insgesamt wird durch die Anlagen, die nach diesen Richtlinien gefördert werden, eine Emissionsminderung von 0,143 Mill. t CO<sub>2</sub> bewirkt.

Auch von diesem Programm gehen zusätzlich positive indirekte Effekte für die Nutzung erneuerbarer Energien aus, sowohl auf der Nachfrage- als auch auf der Angebotsseite.

Allerdings sind auch hier gewisse Mitnahmeeffekte nicht auszuschließen. Außerdem ist zu beachten, daß aufgrund des Kumulationsverbotes bei diesen Techniken eine Substitutionskonkurrenz zu Förderprogrammen der Bundesländer besteht.

### 2.2.3.3 Finanzierungserleichterungen

*Insbesondere Maßnahmen 7, 71, 73, 81*

Systeme zur Nutzung von erneuerbaren Energien erfordern in der Regel einen hohen spezifischen Kapitaleinsatz. Die Höhe der notwendigen Investitionen hat einen wesentlichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Techniken und die Möglichkeiten ihrer Finanzierung. Staatliche Finanzierungserleichterungen verbessern die Wirtschaftlichkeit der Investitionen, sie erhöhen den Liquiditätsspielraum und sie vermindern die Hemmnisse, die im Bereich der Finanzierung u.a. durch eine gewisse Skepsis der Banken gegenüber Projekten zur Nutzung erneuerbarer Energien auftreten können (Diekmann 1996).

Im Maßnahmenkatalog der Bundesregierung werden das ERP-Einsparprogramm (Maßnahme 7), das ERP-Luftreinhaltungsprogramm (82), das Investitionsprogramm des BMU zur Verminderung von Umweltbelastungen (71), das KfW-Umweltprogramm (72), das Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank (73) und das Kommunalkreditprogramm (81) genannt. In diesem Zusammenhang stehen daneben das Umweltschutzbürgerschaftsprogramm (74) und die Förderung von Informationen über Drittfinanzierungsmodelle (106) sowie andere Maßnahmen zur Verbesserung der finanzierungsbezogenen Entscheidungsgrundlagen für potentielle Investoren.

Für die Nutzung erneuerbarer Energien ist hierbei das ERP-Einsparprogramm (7) von besonderer Bedeutung. Die Deutsche Ausgleichsbank vergibt in diesem Rahmen (über die Hausbank) an kleine und mittlere Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft zinsgünstige Darlehen bis zu 50 % der förderfähigen Aufwendungen, wobei eine Kumulation mit anderen Fördermaßnahmen zugelassen ist. Im Rahmen der ERP-Wirtschaftsförderung sind im Jahr 1995 insgesamt Zusagen in einer Höhe von 11,5 Mrd. DM gemacht worden; hiervon entfallen auf das Energiesparprogramm (in West- und Ostdeutschland zusammen) 1 770 Mill. DM (BMWi Tagesnachrichten vom 1.3.1996). Für erneuerbare Energien sind im Rahmen dieses Programmes im Jahr 1995 Kredite in Höhe

von 474 Mill. DM zugesagt worden (Tabelle 21). Mit diesen Mitteln werden zu 88 % Windkraftanlagen und ansonsten überwiegend die Nutzung von Biomasse und Wasserkraft gefördert.

Tabelle 21:

**Förderung erneuerbarer Energien durch die Deutsche Ausgleichsbank  
von 1990 bis 1996 (Kreditzusagen in Mill. DM)**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	30.6.1996	Gesamt
ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm								
Windkraft	35,6	56,7	66,2	213,9	439,0	417,5	209,4	1438,3
Wasserkraft	7,5	9,9	17,1	24,3	40,0	21,3	11,4	131,5
Biomasse	1,4	5,5	3,9	73,2	39,5	34,4	2,1	160,0
Sonnenenergie	0,4	0,2	1,2	0,3	3,7	0,0	0,5	6,3
Sonstige	2,9	4,2	3,7	0,1	10,2	0,3	0,5	21,9
Summe	47,8	76,5	92,1	311,8	532,4	473,5	223,9	1758,0
DtA-Umweltprogramm								
Windkraft	5,3	20,1	35,9	89,5	172,3	168,7	96,4	588,2
Wasserkraft	0,9	2,1	6,8	10,1	19,8	6,7	9,0	55,4
Biomasse	0,1	2,7	1,2	7,3	20,3	13,2	4,2	49,0
Sonnenenergie	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	2,2
Sonstige	1,1	0,8	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	2,6
Summe	7,5	25,7	44,1	106,9	213,3	188,7	111,2	697,4
Insgesamt								
Kreditzusagen	55,3	102,2	136,2	418,7	745,7	662,2	335,1	2455,4
Investitionen	114,5	195,2	254,4	682,6	1133,8	1005,2	460,6	3846,3

Quellen: Deutsche Ausgleichsbank. Persönliche Mitteilung, Oktober 1996. Berechnungen des DIW.

Diese Systeme stehen auch im Rahmen des Umweltprogrammes der Deutschen Ausgleichsbank (73) im Vordergrund, das für gewerbliche Unternehmen vor allem der Ergänzungsförderung zum ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm dient. Eine Programmweiterung für erneuerbare Energien für private Haushalte umfaßt solarthermische Anlagen (Niedertemperatur), Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen, Biomasseanlagen, Biogasanlagen und geothermische Anlagen; dieser Programmteil wird als 50 000-Dächer-Solarinitiative oder als DtA-Solar-Initiative bezeichnet (Deutsche Ausgleichsbank 1996a). Für private Haushalte beträgt der Zinssatz bei 96 % Auszahlung und einer Laufzeit von 6 Jahren (nominal) 3 % (VWD Umweltmärkte 25.10.1996).

Der Finanzierungsanteil von ERP- und DtA-Umweltdarlehen kann wie auch eine Förderung allein aus dem DtA-Umweltprogramm bis zu 75 % der förderfähigen Investitionen betragen. Privathaushalte können bis zu einem Finanzierungsanteil von 100 % der förderfähigen Investitionen gefördert werden. Seit 1990 hat die Deutsche Ausgleichsbank im Rahmen des ERP-Umwelt- und Energiesparprogramms und des Umweltprogramms ins-

gesamt Kredite in Höhe von 2455 Mill. DM zugesagt. Hiermit sind Investitionen in Höhe von 3846 Mill. DM gefördert worden.

Das im Jahr 1992 ausgelaufene Kommunalkreditprogramm (81) hat Sachinvestitionen kommunaler Einrichtungen in den neuen Bundesländer unterstützt. Hierbei sind durch die Deutsche Ausgleichsbank auch Kredite für Windkraftanlagen (15 Mill. DM im Jahr 1992), Biomassenutzung (4 Mill. DM im Jahr 1993) und sonstige Techniken (6 Mill. DM im Jahr 1992) gefördert worden (Deutsche Ausgleichsbank 1994).

Das Programm des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) zur Verminderung von Umweltbelastungen (71) fördert Demonstrationsvorhaben von gewerblichen Unternehmen und kommunalen Gebietskörperschaften durch Investitions- und Zinszuschüsse zu Darlehen von KfW und DtA im Rahmen des KfW-Umweltprogrammes und des Ergänzungsprogrammes III. In diesem Rahmen werden erneuerbare Energien im Zuständigkeitsbereich der Deutschen Ausgleichsbank gefördert. Zinsgünstige Darlehen werden bis zu 70 % der förderfähigen Aufwendungen gewährt. Das BMU verbilligt die Darlehen zusätzlich um 5 % (Energie-Berater Juli 1994).

Unter Maßnahme 106 (Förderung von Informationen über Drittfinanzierungsmodelle) wird in BMU (1994) auf haushalts- und vergaberechtliche Probleme hingewiesen, die im Rahmen der nationalen Umsetzung der EU-SAVE-Richtlinie für eine breite Anwendung der Drittfinanzierung im öffentlichen Sektor noch gelöst werden müssen. Aber auch darüber hinaus können Investitionshemmnisse vermindert werden, wenn die Voraussetzungen zur Nutzung von Drittfinanzierung bzw. Contracting verbessert werden (vgl. Bertelmann, von Braunmühl 1994).

Die Wirkung zinsvergünstigter Darlehen auf die Nutzung von erneuerbaren Energien erfolgt indirekt über verbesserte Rentabilität und Liquidität sowie über die Erleichterung des Zugangs zum Kreditmarkt. Abgesehen von den zusätzlichen Zinsverbilligungen im Demonstrationsprogramm des BMU sind die Differenzen zu Marktzinssätzen nicht sehr hoch, wobei allerdings die im Einzelfall gültigen Alternativen maßgeblich sind. Der Einfluß einer Zinssatzdifferenz von 1 % ist in der Tabelle 22 beispielhaft ausgehend von einem Zinssatz von 7 % dargestellt. Ein Zinszuschuß von einem Prozentpunkt läßt sich danach umrechnen in einen Zuschuß auf die Aufwendungen in Höhe von 4,6 % (10 Jahre)

bzw. 7,6 % (20); unter Berücksichtigung einer Beschränkung des Kredits auf 50 % der förderfähigen Kosten (wie im ERP-Energiesparprogramm) halbiert sich dieser Effekt auf 2,3 bzw. 3,8 %.

Tabelle 22:

**Umrechnung einer Zinsverbilligung in einen Investitionszuschuß**

		Marktkredit		Verbilligter Kredit	
Kreditbetrag	DM	100,00	100,00	100,00	100,00
Laufzeit	Jahre	10	20	10	20
Zinssatz	%	7,0	7,0	6,0	6,0
		0,1	0,1	0,1	0,1
Annuität	DM/a	14,2	9,4	13,6	8,7
Barwert	DM	100,00	100,00	95,43	92,36
Differenz	%	0,00	0,00	-4,57	-7,64

In der Regel bewirken solche Finanzierungshilfen nicht, daß aus einzelwirtschaftlicher Sicht unwirtschaftliche Vorhaben allein hierdurch wirtschaftlich werden. Während ein positiver Einfluß auf die Rentabilität von Projekten im allgemeinen erst bei einer Kumulation mit anderen Fördermaßnahmen spürbar wird, sind die komplementären Wirkungen auf die Liquidität und insbesondere auf den Abbau von Hemmnissen bei der Finanzierung von größerer Bedeutung. In diesem Sinne stellen Finanzierungserleichterungen wesentliche flankierende Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien dar, ohne daß deren CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte isoliert quantifiziert werden könnten.

#### **2.2.3.4 Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration**

*Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energien (Maßnahmen 43, 47, 48)*

Die Förderung von Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energien (Maßnahme 43) ist ebenfalls nur sehr schwer in ihren Wirkungen auf die künftige Verringerung von Emissionen zu quantifizieren. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Grundlagenforschung, im wesentlichen aber auch für stärker anwendungsbezogene Forschung. Die Bedeutung dieser Förderung ist nicht an den kurzfristig erreichbaren Erfolgen, sondern an den langfristig angelegten Zielen zu messen. Neben energie- und umweltpolitischen Zielen spielen hierbei auch industrie- und entwicklungspolitische Kriterien eine Rolle.

Im Maßnahmenkatalog der Bundesregierung (BMU 1994) sind zwei Bereiche der Forschung und Entwicklung hervorgehoben, nämlich „Nutzung der Solartechnik“ und „Sekundärenergiesysteme, die im Systemverbund mit erneuerbaren Energien zum Einsatz kommen sollen“, wie Speicher und Brennstoffzellen (Maßnahmen 47 und 48). Solche Forschungsarbeiten sind vor allem langfristig für einen breiten Einsatz sowohl dezentraler als auch großtechnischer Systeme zur Nutzung von Sonnenenergie von Bedeutung und erfordern zum Teil in hohem Maße internationale Zusammenarbeit (Diekmann u.a. 1991).

Im Rahmen der Forschungs- und Technologiepolitik werden unter anderem Demonstrations- und Erprobungsanlagen gefördert, die (sozusagen nebenbei) auch einen direkten Beitrag zur Energieversorgung leisten. Aus diesem Bereich werden unter den technikspezifischen Maßnahmen im folgenden Abschnitt zwei Teilaktivitäten näher betrachtet, nämlich die Förderung von größeren Photovoltaikanlagen und die Förderung von Windkraftanlagen im Rahmen von Demonstrationsprojekten. Daneben werden dort das 1000-Dächer-PV-Programm, das 250-MW-Programm und das Programm Solarthermie 2000 beschrieben (Maßnahmen 44, 45, 46).

#### *Windkraft-Demonstrationsprojekte (vgl. Maßnahme 43)*

Mit Unterstützung des BMBF sind als Demonstrationsprojekte 214 Windkraftanlagen (z.T. in Windparks) mit einer Leistung von zusammen 14,5 MW errichtet worden (Diekmann 1995, BMFT 1993). Hiervon wurden 49 Anlagen in Entwicklungsländern installiert. Die übrigen Anlagen erzeugen in Deutschland pro Jahr etwa 0,03 TWh elektrische Energie (Tabelle 23).

#### *250-MW-Wind-Programm des BMBF (Maßnahme 45)*

Das 250-MW-Wind-Programm wird seit 1989 als Breitentestprogramm des BMBF (früher BMFT) vom Forschungszentrum Jülich mit Unterstützung der Bundesländer durchgeführt. Es war zunächst für eine Leistung von 100 MW konzipiert und ist seit 1991 auf eine Leistung von 250 MW erweitert worden (BMFT 1991). Begleitet wird dieses Programm durch ein wissenschaftliches Meß- und Evaluationsprogramm (WMEP), mit dem das Institut ISET in Kassel beauftragt ist.

Im Rahmen dieses Programmes gewährt das BMBF Zuwendungen in Form eines Betriebskostenzuschusses je kWh für die Dauer von längstens 10 Jahren oder in Form eines Investitionskostenzuschusses. Gefördert werden neu zu errichtende Anlagen mit einer Leistung von mindestens 1 kW (bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s). Eine Kumulierung mit anderen Mitteln des BMBF ist ausgeschlossen. Der Betriebskostenzuschuß beträgt 6 Pf je kWh, für die im Abrechnungszeitraum eine Einspeisungsvergütung beansprucht werden kann, und anderenfalls 8 Pf je kWh. An Stelle des Betriebskostenzuschusses konnte ein einmaliger Investitionszuschuß beantragt werden, wenn die Anlage nicht zu einem Betriebsvermögen der gewerblichen Wirtschaft gehört. Die Antragsfrist lief bis Ende 1995.

Bis Mitte 1995 gab es rechtswirksame Bewilligungen für 1 194 Vorhaben (Li u.a. 1995). Diese umfassen 1 557 Anlagen mit einer Nennleistung von insgesamt 336,2 MW<sup>17</sup>. Ausgehend von dieser Leistung wird in Tabelle 23 die jährliche Stromerzeugung auf 0,67 TWh und ein Fördervolumen in der Größenordnung von 40 Mill. DM pro Jahr geschätzt. Dieses Programm wurde bis Mitte 1995 mit 108 Mill. DM gefördert. Die Ausgaben verteilen sich auf die Jahre 1989 bis voraussichtlich 2007 und hängen vom künftigen Energieertrag der Anlagen ab. Bei einer durchschnittlichen Auslastung der Anlagen von 2 000 h/a wäre insgesamt eine Ausgabensumme für dieses Programm in der Größenordnung von 400 Mill. DM zu erwarten.

#### *Große PV-Demonstrationsprojekte (vgl. Maßnahme 43)*

Von den im Rahmen der Forschungs- und Technologiepolitik geförderten Photovoltaikanlagen werden in Tabelle 23 Spalte (c) nur Großanlagen über 100 kW berücksichtigt. Diese sind in unterschiedlicher Höhe vom BMBF (z.T. auch von der EU) mit öffentlichen Mitteln gefördert worden. Darüber hinaus haben Anlagenhersteller und Energieversorgungsunternehmen Eigenmittel für diese Projekte eingesetzt. Ein EVU hat die von ihr betriebenen Versuchsanlagen ohne spezielle Zuwendungen des BMBF errichtet. Die hier berücksichtigten Demonstrationsanlagen erzeugen pro Jahr 0,001 TWh (Diekmann u.a. 1995).

<sup>17</sup> Die Nennleistung ist in der Regel höher als die hier maßgebliche Leistung bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s. Mitte 1995 war noch ein Bewilligungsvolumen von rund 35 MW bezogen auf 10 m/s oder rund 54 MW Nennleistung offen.



### *Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm (Maßnahme 44)*

Das zusammen vom Bund und von den Bundesländern durchgeführte 1000-Dächer-Photovoltaik-Programm (Maßnahme 44) trat in den alten Bundesländern im September 1990 und in den neuen Bundesländern im Juli 1991 in Kraft. Die Antragsfrist lief in den alten Ländern im Juni 1992 und in den neuen Ländern im Juni 1993 aus. Im Rahmen dieses Programmes sind kleine netzverbundene Photovoltaikanlagen insbesondere auf Dächern von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Leistungen von 1 bis 5 kW gefördert worden. Der Zuschuß beträgt 70 % der zuwendungsfähigen Investitionsausgaben, die auf 27 000 DM je kW Modulleistung begrenzt sind. In den alten Bundesländern werden vom Bund 50 % und von den Ländern (außer Saarland) 20 % und in den neuen Ländern vom Bund 60 % und von den Ländern 10 % bereitgestellt. Die Antragsteller mußten sich verpflichten, am Standard-Meß- und Auswerteprogramm (S-MAP) teilzunehmen. Darüber hinaus wird ein Teil der Anlagen in einem Intensiv-Meß- und Auswerteprogramm (I-MAP) ausgewertet.

Das gesamte „1000-Dächer-Programm“ umfaßt 2 250 zu fördernde Anlagen. Es haben allerdings nicht alle Bundesländer ihre Kontingente vollständig ausgeschöpft. Mitte 1995 waren von 2 115 bewilligten Anlagen 2 029 errichtet (Sandtner 1995). Die durchschnittliche Modulleistung dieser Anlagen beträgt 2,62 kW. Im Durchschnitt beliefen sich die Investitionsausgaben auf 24 504 DM/kW. Die bewilligten Anlagen erfordern somit insgesamt ein Fördervolumen von 95 Mill. DM (einschl. Länder). Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Ausnutzungsdauer von 700 h/a (Sandtner 1995), ergibt sich eine Jahrerzeugung von 0,004 TWh (vgl. Tabelle 23).

### *Programm „Solarthermie 2000“ (Maßnahme 46)*

Das Programm „Solarthermie 2000“ des BMBF dient der Demonstration und Erprobung solarthermischer Nutzungssysteme. Es besteht aus drei Teilprogrammen: 1) Untersuchung des Langzeitverhaltens bestehender Solaranlagen im bundeseigenen Bereich, 2) Feldversuch zur Demonstration solarthermischer Anlagen in öffentlichen Gebäuden mit Schwerpunkt auf das Gebiet der ehemaligen DDR, 3) Erprobung von Solarer Nahwärme mit saisonalen Wärmespeichern (Pilotvorhaben zur Einspeisung in lokale Wärmenetze mit einem Deckungsanteil von über 50 %).

Im Teilprogramm 2 sollen innerhalb eines Jahrzehnts (1993-2002) bis zu 100 mittelgroße Demonstrationsanlagen mit einer Kollektorfläche von mindestens 100 m<sup>2</sup> in öffentlichen Einrichtungen errichtet werden. Die erste Anlage wurde Ende 1995 auf dem Dach eines Krankenhauses in Wolgast installiert (Schreier 1996). Die aktive Absorberfläche beträgt hier 172 m<sup>2</sup>. Es wird mit einem spezifischen Jahresertrag von 480 kWh/m<sup>2</sup> und einem Systemnutzungsgrad von 42 % gerechnet. 100 Anlagen würden eine Brennstoffeinsparung von rund 10 GWh/a und eine Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen um 0,002 Mill. t bewirken.

Tabelle 23:

**Schätzung der direkten Wirkungen von ausgewählten Programmen des BMBF**

(a) Windkraft-Demonstrationsanlagen (Maßnahmen 43)

(b) 250-MW-Wind-Programm (Maßnahmen 45)

(c) Große PV-Demonstrationsanlagen (Maßnahme 43)

(d) 1000-Dächer-Photovoltaik-Programm (Maßnahme 44)

		Windkraft		PV		Summe
		(a)	(b)	(c)	(d)	
Fördervolumen	Mill. DM	11,7 <sup>1)</sup>		19,0 <sup>1)</sup>	95,0 <sup>2)</sup>	125,8 <sup>2)</sup>
	Mill. DM/a		40,3			40,3 <sup>2)</sup>
Spez. Investition	DM/kW	3000 <sup>1)</sup>		30000	24504	
Fördersatz	%	30 <sup>1)</sup>		50 <sup>1)</sup>	70 <sup>2)</sup>	
	DM/kWh		0,06 <sup>3)</sup>			
Nennleistung	kW	13030 <sup>2)</sup>	336197 <sup>4)</sup>	1267 <sup>2)</sup>	5541 <sup>2)</sup>	356035
Anlagengröße	kW/Anlage	79	216	253	2,62	
Geförd. Anlagen	Anlagen	165	1557 <sup>5)</sup>	5	2115	3842
Ausnutzung	h/a	2000	2000	750	700	
Stromerzeugung	TWh/a	0,026	0,672	0,001	0,004	0,703
	PJ/a	0,094	2,421	0,003	0,014	2,532
Emissionsfaktor	kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,837	0,837	0,837	0,837	
Emissionsminderung	Mill. t CO <sub>2</sub>	0,022	0,563	0,001	0,003	0,589

<sup>1)</sup> Geschätzt. <sup>2)</sup> Geförderte Leistung. <sup>3)</sup> Betriebskostenzuschuß 1991 von 8 auf 6 Pf/kWh gesenkt. <sup>4)</sup> Bewilligte Nennleistung Mitte 1995. <sup>5)</sup> Bewilligte Anlagen Mitte 1995. <sup>6)</sup> Einschließlich Anteil der Länder (20 %). <sup>7)</sup> Nennleistung von PV-Großanlagen ohne RWE (700 kW). <sup>8)</sup> Ohne (b). <sup>9)</sup> Nur (b).

Quellen: BMFT (1993), LI u.a. (1995), Sandner (1995), Schätzungen und Berechnungen des DIVV.

**Geothermie (Maßnahme 54)**

Die Nutzung von Erdwärme ist unter den geologischen Voraussetzungen in Deutschland auf drei Arten möglich: untefe Geothermie, hydrothermale Geothermie und Hot-Dry-Rock-Systeme (Diekmann u.a 1995). Bei der Nutzung untefer Geothermie mit Hilfe von Wärmepumpen gibt es einen fließenden Übergang zur Nutzung von Umweltwärme. Solche Projekte werden dem Potential von Wärmepumpen zugerechnet. Nach den Förder Richtlinien des BMWi vom 1.8.1995 (Maßnahme 112) wird hierunter die Erdwärmenutzung bis zu einer Tiefe von 400 m subsumiert. Die Nutzung von hydrothermalen Geo-

thermievorkommen für Heizzentralen für Nahwärmeversorgungen ist in Abhängigkeit vom Temperaturniveau des Wassers mit oder ohne Einsatz von Wärmepumpen möglich. In der DDR gab es hierzu drei Versuchsanlagen in Waren, Neubrandenburg und Prenzlau. Hinzu gekommen ist 1994/95 eine Anlage in Neustadt Glewe (Mecklenburg-Vorpommern). Die in Betrieb befindlichen Anlagen erbringen eine geothermische Wärmeerzeugung von rund 150 GWh/a. Unter Berücksichtigung von Netzverlusten und Wirkungsgraden der substituierten Heizsysteme (hier bezogen auf das Jahr 2005 überwiegend Erdgasthermen) läßt sich ein Beitrag zur Emissionsverminderung von 0,03 Mill. t CO<sub>2</sub> pro Jahr schätzen. Hot-Dry-Rock-Systeme befinden sich im Stadium der Forschung und Entwicklung.

Für die Nutzung der Geothermie werden vom BMBF in den Jahren 1993 bis 1997 insgesamt 23,3 Mill. DM bereitgestellt BMU (1994). Die Förderung des BMWi ist in den Maßnahmen 6 und 112 enthalten.

#### *Wärme- und Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen (Maßnahme 53)*

Mit dem Ziel, größere Anlagen zur Verbrennung von Biomasse mit Leistungen zwischen 1 bis 40 MW zu testen, hat die Bundesregierung im Jahr 1992 einen mehrstufigen Modellversuch „Wärme- und Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen“ begonnen, für den das Landwirtschaftsministerium 30 Mill. DM bereitstellt BMU (1994). Nach der Erstellung und Auswertung von Machbarkeitsstudien im Jahr 1993 werden Anlagen geplant, errichtet und betrieben. Geprüft werden insbesondere die Möglichkeiten der Logistik und der Verbrennungstechnik. Dieses Vorhaben des BML ergänzt die Aktivitäten des BMBF zur Förderung von Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energien.

### **2.2.3.5 Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft**

#### *Maßnahme 110*

Die Selbstverpflichtungen der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge werden in Kapitel II.4 erläutert. Die folgenden Hinweise beschränken sich auf die Rolle erneuerbarer Energien im Rahmen der aktualisierten Erklärungen vom März 1996.

Die Unternehmen der öffentlichen Elektrizitätsversorgung nutzen erneuerbare Energien zur Stromerzeugung und kaufen Einspeisungen aus Anlagen Dritter. Der Verband Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) hat am 10.3.1995 erklärt, daß sich die Unternehmen für den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland engagieren und sich an der Weiterentwicklung beteiligen, insbesondere über Pilot- und Demonstrationsvorhaben. Daneben wird der Bezug von Strom auf Basis erneuerbarer Energien aus dem Ausland genannt. „Dadurch können ab etwa 2003 jährlich rd. 5,5 Mio. t CO<sub>2</sub> ... vermieden werden.“ Nach Angaben der VDEW geben EVU derzeit jährlich über 900 Mill. DM für erneuerbare Energien aus, wovon gut 90 % auf Planung, Bau und Betrieb von wirtschaftlichen Anlagen, d.h. insbesondere von Wasserkraftwerken, entfallen. Schwerpunkte liegen derzeit neben der Wasserkraft bei der Windkraft, der Biomasseverbrennung und der Photovoltaik; Verträge mit skandinavischen Betreibern von Wasserkraftwerken können etwa ab 2003 in größerem Umfang wirksam werden (BDI 1996).

Erneuerbare Energien spielen auch in den Erklärungen des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) und des Verbandes kommunaler Unternehmen (VKU) eine Rolle: Zu den zusätzlichen Anstrengungen der deutschen Gaswirtschaft gehören auch solche für eine verstärkte Energieträgersubstitution durch Erdgas und regenerative Energien. Genannt wird insbesondere die Installation von Heizkesseln im Dachbereich zur kombinierten Nutzung von thermischen Solarkollektoren. Der VKU sieht Minderungspotentiale u.a. bei der Förderung regenerativer Energien. VKU und ASEW fördern die Durchführung von Demonstrationsvorhaben, um u.a. den Einsatz erneuerbarer Energien bei den Kommunen zu verbreitern. Daneben soll die Kundenberatung u.a. zur Nutzung erneuerbarer Energien intensiviert werden.

#### **2.2.3.6 Sonstige Maßnahmen**

##### *Verbesserung der Information und Abbau von Hemmnissen*

Zur Verbesserung der Marktchancen erneuerbarer Energien ist eine Reihe weiterer technikübergreifender Maßnahmen zumindest teilweise bereits umgesetzt worden. Hierzu gehören insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Information und zum Abbau von allgemeinen institutionellen Hemmnissen. Hier besteht auch künftig noch Handlungsbedarf. Eine isolierte Quantifizierung solcher - in der Regel flankierend eingesetzt-

ter - Maßnahmen ist allerdings kaum möglich. Auf die Verbesserung der Information zur Nutzung erneuerbarer Energien zielen u.a. die Maßnahmen

- (77) Beratung durch die Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände,
- (83) Fachinformation insbesondere durch FIZ, Karlsruhe (BINE, IZW) und ZfS, Stuttgart,
- (88) Umweltzeichen z.B. für solarbetriebene Produkte,
- (106) Förderung der Information über Drittfinanzierungsmodelle.

Dem Abbau institutioneller Hemmnisse dienen die Maßnahmen

- (12) Herausnahme der Windkraftanlagen aus dem Anwendungsbereich der 4. BImSchV,
- (103) Privilegierung der erneuerbaren Energien in § 35 Abs. 1 des Baugesetzbuches und
- (104) Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis zwischen Ländern und Kommunen.

Maßnahme (12) hat zu einer Verwaltungsvereinfachung geführt. Die zu Maßnahme (103) zunächst vom Bundestag beschlossene Regelung war im Bundesrat gescheitert. Eine befriedigende Regelung ist insbesondere für die Nutzungsmöglichkeiten von Windkraftanlagen im baurechtlichen Außenbereich von Bedeutung. Die Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis sowie die Beseitigung von Rechtsunsicherheiten müssen künftig noch vorangetrieben werden.

#### *Abfallrechtliche Maßnahmen (Maßnahmen 65 bis 68)*

Die beschlossenen und zum Teil umgesetzten abfallrechtlichen Maßnahmen (Verpackungsverordnung, TA Siedlungsabfall, TA Abfall Teil 1, Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) wirken sich im Bereich erneuerbarer Energien insbesondere auf die energetische Verwendung von Müll und Deponiegas aus. Im Rahmen des Abfallgesetzes regelt die 1991 in Kraft getretene Verpackungsverordnung die Rücknahme- und Verwertungspflicht von Verpackungen und den Vorrang der stofflichen Verwertung. Zu einer

Verminderung des Müllaufkommens trägt auch die TA Siedlungsabfall bei, die 1993 in Kraft getreten ist; sie schreibt außerdem für Altdeponien eine energetische Nutzung von Deponiegas vor.

Die Fortentwicklung des Abfallrechts in ein umfassenderes Kreislaufwirtschaftsrechts beruht auf dem Grundsatz der Rangfolge von

- Vermeiden von Abfall,
- stoffliche oder energetische Verwertung,
- Beseitigung von Abfall.

Die Umsetzungsmöglichkeiten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW/AbfG), das im Oktober 1996 in Kraft tritt, sind allerdings insbesondere hinsichtlich der Verwertungsquoten einiger Materialien noch umstritten. Die abfallrechtlichen Entwicklungen sind - soweit absehbar - in der Status-Quo-Prognose (Prognos 1995) berücksichtigt. Insbesondere über die Zahl der künftig benötigten Anlagen zur energetischen Verwertung von Müll bestehen allerdings große Unsicherheiten.

## **2.2.4 Wirkungen weiterer Maßnahmen**

### **2.2.4.1 Vorschlag einer forcierten finanziellen Förderung**

Im Rahmen von Gesprächszirkeln beim BMWi sollte vor dem Hintergrund der Energiekonsensgespräche auf Expertenebene herausgearbeitet werden, „welche konkreten Ansatzpunkte und Maßnahmen für verstärktes Energiesparen und verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien sich trotz teilweise unterschiedlicher Interessenlagen finden lassen und wo die Grenzen liegen“ (BMWi 1994). In diesem Rahmen sind im Gesprächszirkel 6 mögliche Maßnahmen zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien konkretisiert und diskutiert worden. Einige Teilnehmer haben hierbei ein Förderkonzept vorgeschlagen, das erhöhte Einspeisungsvergütungen, Verteilungen der Netzanbindungskosten und staatliche Zuschüsse umfaßt. Es wird geschätzt, daß mit diesem Modell „innerhalb von 5 bis 7 Jahren strom- und wärmeerzeugende Anlagen mit einer Nennleistung von insgesamt etwa 6 000 bis 12 000 MW zu errichten“ wären („10 000 MW-Förderprogramm“). Die erforderlichen Zuschüsse werden auf 2 bis 4 Mrd. DM geschätzt.

In Tabelle 24 ist in Anlehnung an die Bandbreitenangaben in BMWi (1994, Anhang) die Wirkung eines solchen Zuschußprogrammes auf die regenerative Stromerzeugung aus Windkraft-, Photovoltaik- und Wasserkraftanlagen geschätzt. Vermutlich aufgrund von konservativeren Annahmen ergibt sich ausgehend von den angestrebten Ausbauzielen allein für diese Techniken mit 1,7 Mrd. DM ein deutlich höheres Fördervolumen, als es im Rahmen des Gesprächszirkels geschätzt worden ist (660 bis 1 350 Mill. DM). Die jährliche Stromerzeugung dieser drei Nutzungssysteme würde durch dieses Programm (direkt) um 7,1 TWh/a zunehmen, davon entfielen auf Strom aus Windkraftanlagen allein 5,5 TWh/a.

Tabelle 24:

**Schätzung der direkten Wirkung eines Förderprogramms Erneuerbare Energien in Anlehnung an die Vorschläge von Teilnehmern des Gesprächszirkels 6 beim BMWi (weitere Maßnahme) auf die Nutzung von Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft**

		Wind- kraft	Photo- voltaik	Wasser- kraft	Summe
Fördervolumen	Mill. DM	825	600	300	1725
Investition	DM/kW	2000	20000	5000	
Fördersatz	%	15	50	15	
Geförd. Leistung	kW	2750000	60000	400000	3210000
Anlagengröße	kW/Anlage	500	3	100	
Geförd. Anlagen	Anlagen	5500	24000	4000	33500
Ausnutzung	h/a	2000	800	4000	
Stromerzeugung	TWh/a	5,500	0,048	1,600	7,148
	PJ/a	19,800	0,173	5,760	25,733
Emissionsfaktor	kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,837	0,837	0,837	
Emissionsminderung	Mill. t CO <sub>2</sub>	4,604	0,040	1,339	5,983
Anmerkung: Der Förderbedarf für diese Techniken wird vom Gesprächszirkel 6 beim BMWi auf 660 bis 1350 Mill. DM geschätzt. Quellen: BMWi (1994), Schätzungen des DIW.					

#### 2.2.4.2 100 000-Dächer-Photovoltaik-Programm

Zur breiten Einführung der Photovoltaik in Deutschland wird von einigen eine staatliche Förderung von 100 000 Anlagen gefordert. So halten einige Teilnehmer des Gesprächszirkels beim BMWi einen Leistungszuwachs bis zu 200 MW bei entsprechend höheren Förderbeträgen für erschließbar (BMWi 1994). Unter den in Tabelle 24 dargestellten Annahmen würde durch ein 100 000-Dächer Programm eine Spitzenleistung von

250 MW gefördert. Hiermit wären eine Stromerzeugung von 0,2 TWh und somit eine Emissionsminderung um 0,167 Mill. t CO<sub>2</sub> verbunden. Der Zuschußbedarf läge bei 2,5 Mrd. DM.

#### **2.2.4.3 Sonstige Maßnahmen**

Die beschriebenen technikspezifischen Maßnahmen sind bedeutsame Beispiele für die gezielte Förderung einzelner Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Schwieriger sind dagegen spezielle Maßnahmen, die dem Abbau von spezifischen Hemmnissen dienen, in ihren Wirkungen zu bewerten. Bei der Formulierung von strategischen Maßnahmenbündeln können sie dennoch von entscheidender Bedeutung sein.

Eine Reihe von solchen Maßnahmen ist im Rahmen eines vom BMWi geförderten Aktionsprogramms „Abbau von Hemmnissen bei der Realisierung von Anlagen erneuerbarer Energien“ für die Nutzung von Windkraft, Wasserkraft, Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpen, Biogas und feste Biomasse dargestellt worden (Forum für Zukunftsenergien 1996).

#### **2.2.5 Maßnahmenbündel zur Förderung erneuerbarer Energien**

Die Diskrepanz zwischen dem heutigen Stand der Nutzung erneuerbarer Energien und dem langfristig unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten bestehenden Potentialen ist groß. Im Zeitraum bis zum Jahr 2005 und selbst bis 2020 wird sich dieser Abstand nur zu einem begrenzten Teil vermindern lassen. In Politikszenerarien, die sich an solchen Zeitpunkten orientieren, sollten allerdings nicht allein die bis dahin erreichbaren Minderungsbeiträge bewertet werden, sondern auch die erforderlichen Weichenstellungen für die weitere, langfristige energiewirtschaftliche Entwicklung.

Der Beitrag erneuerbarer Energien zur Energieversorgung in Deutschland kann künftig nur dann wesentlich erhöht werden, wenn dies durch ausreichende politische Maßnahmen unterstützt wird. Wie bisher kann man hierbei nicht allein auf ein einzelnes Instrument zur Förderung setzen. Die Verbreitung der Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien stößt an unterschiedliche Hindernisse, die zum Teil technikspezifisch sind, zum anderen Teil aber unterschiedliche Optionen gleichermaßen betreffen. Dementsprechend



ist es erforderlich, unterschiedliche Kombinationen von politischen Maßnahmen in Betracht zu ziehen.

Die Wechselwirkungen zwischen Fördermaßnahmen können komplementär oder substitutiv sein. Im ersten Fall ist eine Maßnahmenkombination eine notwendige Voraussetzung dafür, daß überhaupt eine Wirkung erreicht wird. So können gleichzeitig Information und Einspeisungsmöglichkeit und Genehmigung erforderlich sein, damit Investitionen getätigt werden. Dagegen stehen substitutive Maßnahmen mehr oder weniger in einem Austauschverhältnis zueinander. So kann die Wirtschaftlichkeit eines Anwendungssystems zum Beispiel durch Investitionszuschuß oder Betriebskostenzuschuß oder erhöhte Einspeisungsvergütung verbessert werden. Im Grenzfall einer alternativen Substitution zwischen zwei Maßnahmen besteht die Möglichkeit, das unter politischen Aspekten günstigste Instrument auszuwählen. Eine Kombination von Maßnahmen ist in diesem Fall zwar nicht zwingend erforderlich, sie wirkt aber verstärkend und kann insbesondere dann angezeigt sein, wenn die Dosierung einzelner Maßnahmen allein nicht ausreichen würde.

Die Bewertung von Maßnahmenbündeln zur Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energiequellen muß eingebettet sein in Strategieüberlegungen, die die Energiewirtschaft und die mit ihr in Beziehung stehenden Politikbereiche insgesamt betreffen. Die geeignete Kombination und Dosierung von sektorbezogenen Maßnahmen können insbesondere davon abhängen, wie eine allgemeine Energie- oder Emissionssteuer ausgestaltet wird.

Spezielle Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien sind in den letzten Jahren unter anderem im Gesprächszirkel 6 beim BMWi erörtert worden (BMWi 1994). Beteiligt waren unterschiedliche Interessengruppen, unabhängige Berater und Vertreter verschiedener Ressorts. Übereinstimmung besteht darüber, daß die stärkere Nutzung erneuerbarer Energien aus unterschiedlichen politischen Gründen notwendig ist und daß es „zusätzlicher Anstrengungen von Bund, Ländern und Kommunen, der Wirtschaft, gesellschaftlicher Gruppen und Anwender bedarf, um über die bisherigen Maßnahmen hinaus weitere Nutzungsmöglichkeiten zu erschließen.“

Als Handlungsfelder dieser breit anzulegenden Anstrengungen werden genannt:

1. Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit für erneuerbare Energien im Inland und Ausland.

2. Verbesserung der rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen für den Einsatz erneuerbarer Energien sowie der Information, Aus-, Weiter- und Fortbildung.
3. Marktorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Anlagen und Materialien zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Die konkreten Vorschläge der Teilnehmer zu den einzelnen Handlungsfeldern sind allerdings zum Teil widersprüchlich. Ein weitgehender Vorschlag umfaßt folgende Elemente:

- (1) Es wird ein Konzept der finanziellen Förderung vorgeschlagen bestehend aus
  - Erhöhung der Mindesteinspeisungsvergütungen (z.B. auf 95 %),
  - zusätzlichen, zeitlich begrenzten Investitionszuschüssen für neue und reaktivierte Stromerzeugungsanlagen, deren Wirtschaftlichkeit mit der Mindesteinspeisungsvergütung allein nicht erreichbar ist (10 bis 30 %, Photovoltaik zunächst 70 %), oder entsprechenden Betriebskostenzuschüssen,
  - staatlichen Zuschüssen für neue und reaktivierte Anlagen zur Wärmeerzeugung und
  - der teilweisen Übernahme der Netzanbindungskosten durch die EVU.

Auf alle Zuschüsse soll nach diesem Vorschlag („10 000 MW-Förderprogramm“) ein Rechtsanspruch bestehen.

- (2) Neben der Nutzung erneuerbarer Energien im Inland soll auch die im Ausland unterstützt werden, insbesondere durch Exportförderung für die Anwendungssysteme oder einzelne Komponenten.
- (3) Zur weiteren Internalisierung externer Effekte soll eine CO<sub>2</sub>/Energiesteuer eingeführt werden, die erneuerbare Energien begünstigt. Biokraftstoffanteile in Mischungen sollen von der Mineralölsteuer befreit werden.
- (4) Im Rahmen der Novellierung des Energiewirtschaftsrechts sollte die Investitionsaufsicht abgeschafft werden. Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sollten von der Genehmigungspflicht befreit werden. Die Versorgung von Nachbarn sollte zugelassen werden.
- (5) Bei der Zusammenarbeit mit EVU wird eine Erhöhung der Transparenz bei der Netzanbindung, eine Prüfung des Regelungsbedarfs bei Zusatz- und Reservestromversorgung bei Sondervertragskunden und eine Erleichterung der Durchleitung gefordert.

- (6) Im Bau- und Planungsrecht sollen generell die Belange erneuerbarer Energie berücksichtigt, Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien baurechtlich privilegiert und im Bauordnungsrecht ohne oder mit vereinfachten Verfahren genehmigt werden. Geprüft werden soll die Verpflichtung zur solaren Brauchwassernutzung bei Neubauten.
- (7) Im Natur- und Wasserschutz sollen die Vorteile erneuerbarer Energien einbezogen werden. Nach Möglichkeit soll auf Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen verzichtet werden. Die Regelobergrenze für Wasserrechte soll verlängert werden.
- (8) Weitere Hemmnisse sollen durch Änderungen im Haushaltsrecht, im Mietrecht und in den Handwerksordnungen beseitigt werden.
- (9) Maßnahmen zur verbesserten Information, Beratung, Aus- und Fortbildung sollen zum einen dazu dienen, Kenntnismängel bei potentiellen Investoren, Anlagenbetreibern und Anbietern zu beseitigen. Daneben soll aber auch die Akzeptanz erneuerbarer Energien in der Bevölkerung gestärkt werden.
- (10) Nicht zuletzt sollen Maßnahmen zur Förderung der anwendungsorientierten Forschung, Entwicklung und Demonstration dazu beitragen, daß durch Verbesserungen der technischen Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Anlagen sowie durch Kostensenkungen und erhöhte Umweltverträglichkeit deren Wettbewerbsfähigkeit mehr und mehr zunimmt. Im Rahmen einer abgestimmten Gesamtstrategie sollen hierzu alle Akteure beitragen.

### 2.3 Literatur zu den Kapiteln 1 und 2

- Bach, St., u.a. (1995): Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. In: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Sonderheft 153. Berlin 1995.
- BDI (1996): Aktualisierte Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. BDI, BGW, VDEW, VIK, VKU. Köln, März 1996.
- Bertelmann, H., von Braunmühl, W. (1994): Kapitel 7 Finanzierung. In: Der Energie-Berater. Grundwerk. Köln 1994.
- BMFT (1991): Richtlinie zur Förderung der Erprobung von Windkraftanlagen „250 MW Wind“ im Rahmen des dritten Programms Energieforschung und Energietechnologien vom 13. Februar 1991. Bundesanzeiger 22.2.1991. [Die geänderte Fassung vom 29.12. 1993 ist im Bundesanzeiger vom 4.2.1994 verkündet.]
- BMFT (1993): Förderung der Windenergie durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie. Bonn, März 1993.
- BMU (Hrsg.) (1994): Klimaschutz in Deutschland. Erster Nationalbericht der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, September 1994.
- BMWi (1994): Energieeinsparung und erneuerbare Energien. Berichte aus den energiepolitischen Gesprächszirkeln beim Bundesministerium für Wirtschaft. BMWi-Dokumentation. Bonn 1994.
- Der Energie-Berater: Handbuch für rationelle und umweltfreundliche Energienutzung unter Berücksichtigung der Nutzung erneuerbarer Energien. Loseblattausgabe. Köln 1994 ff.
- Deutsche Ausgleichsbank (1994): Förderung erneuerbarer Energien durch die DtA-Bank in den Jahren 1992 und 1993.
- Deutsche Ausgleichsbank (1996a): So fördern wir erneuerbare Energien. Bonn, August 1996.
- Deutsche Ausgleichsbank (1996b): Persönliche Mitteilung, Oktober 1996.
- Diekmann, J. (1995): Kosten und Potentiale der Nutzung von Windenergie in der Bundesrepublik Deutschland. IKARUS-Studie 3-07. Schriftenreihe hrsg. vom Forschungszentrum Jülich. Berlin, Februar 1995.
- Diekmann, J. (1996): Auswertung der Befragung von Betreibern von Windkraft-, Photovoltaik- und Wasserkraftanlagen. Im Rahmen des Aktionsprogramms des Forums für Zukunftsenergien.
- Diekmann, J. u.a. (1991): Sonnenenergie. Herausforderung für Forschung, Entwicklung und internationale Zusammenarbeit. Forschungsbericht 1 der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Berlin, New York 1991.

- Diekmann, J., Horn, M., Hrubesch, P., Praetorius, B., Wittke, F., Ziesing, H.-J. (1995): Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen. Instrumente zur Analyse von Klimagasreduktionsstrategien (IKARUS). Entwicklungsprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie. Abschlußbericht Teilprojekt 3 "Primärenergie". Untersuchung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Forschungszentrums Jülich. Monographien des Forschungszentrums Jülich. Band 15. Jülich 1995.
- Forum für Zukunftsenergien (1996): Aktionsprogramm „Abbau von Hemmnissen bei der Realisierung von Anlagen erneuerbarer Energien“. Gefördert durch das BMWi. Bonn, April 1996.
- Grawe, J., Wagner, E. (1995): Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrizitätswirtschaft, Stand 1994. In: Elektrizitätswirtschaft 24/1995.
- ISI (1996): Evaluierung der Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien durch das Bundesministerium für Wirtschaft (1994-1996). Studie des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung im Auftrag des BMWi. Zwischenbericht. Karlsruhe, Juli 1996.
- Kohlhaas, M., Welsch, H. (1995): Modelle einer aufkommensneutralen Energiepreiserhöhung und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen. Teil I und Teil II. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft. Heft 1/95 und 2/95.
- Knud, R. (1996): Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Stand 31.12.1995. In: DEWI-Magazin Nr. 8. Februar 1996.
- Li, T., Mann, P., Stump, N., Windheim, R. (1995): Das „250-MW-Wind“-Programm. In: Elektrizitätswirtschaft 24/1995.
- Prognos (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Gutachten im Auftrag des BMWi bearb. von K. Eckerle u.a. Basel, Oktober 1995.
- RWI (1996): Regionalwirtschaftliche Wirkungen von Steuern und Abgaben auf den Verbrauch von Energie - das Beispiel Nordrhein-Westfalen. Gutachten im Auftrag des MWMTV NRW. Zusammenfassung. Essen, April, 1996.
- Sandtner, W. (1995): Ergebnisse des Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programms. In: Elektrizitätswirtschaft 24/1995.
- Schreier, J. (1996): Großanlage soll Zuverlässigkeit des Solarsystems demonstrieren. In: Sonnenenergie & Wärmetechnik 3/96.
- SFV (1996): Die kostendeckende Vergütung. In: Solarbrief des Solarenergie-Fördervereins e.V. 2/96.
- STE (1992): IKARUS-Projekt. Allgemeine Energieträgerliste. Bearb. von Birnbaum. Jülich, Dezember 1992.

### 3 Verkehr<sup>19</sup>

#### 3.1 Vorbemerkungen

Fast alle Untersuchungen über die Möglichkeiten, die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors zu reduzieren, haben gezeigt, daß wesentliche Erfolge nicht durch Einzelmaßnahmen oder durch einige wenige Maßnahmen zu erreichen sind, sondern daß ein großes Reduktionspotential nur durch einen breit gefächerten, alle Politikbereiche umfassenden Ansatz erschlossen werden kann.

Auf bestimmte Einzelmaßnahmen (z.B. Kraftstoffverteuerung) wird es kurzfristige Reaktionen geben, mittel- und langfristig wird man sich jedoch an eine Einzelmaßnahme gewöhnen und sich anpassen (z.B. Umschichtung des Haushaltsbudgets) oder mit Ausweich- und Umgehungsaktionen reagieren. Eine Einzelmaßnahme hätte auch immer den Nachteil, daß sie sehr stark dosiert sein müßte und somit die Gefahr unerwünschter Nebenwirkungen in anderen Bereichen bestünde (eine kräftige Kraftstoffpreisverteuerung würde für viele Bevölkerungsgruppen zu sozialpolitischen Härten führen).

Verschiedene Einzelmaßnahmen im Verkehrsbereich stehen immer auch in Wechselbeziehungen zueinander; die Wirkungen können sich ergänzen und verstärken oder aber auch neutralisieren. Gleiches gilt im übrigen auch für Entwicklungen und Entscheidungen in anderen Politikfeldern und gesellschaftlichen Bereichen, die in ihren Auswirkungen die CO<sub>2</sub>-Reduktionsbemühungen im Verkehrssektor unterstützen oder hierauf kontraproduktive Auswirkungen haben können.

Aus den genannten Gründen ist eine Wirkungsanalyse von Einzelmaßnahmen außerordentlich problematisch. In jedem Falle sind die Schätzungen der Minderungspotentiale bestimmter Einzelmaßnahmen mit großen Unsicherheiten behaftet. Außerdem ist darauf hinzuweisen, daß sich die Minderungseffekte einzelner Maßnahmen nicht einfach additiv zu einem Gesamteffekt zusammenführen lassen, u.a. auch wegen der vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen ihnen.

---

<sup>19</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

Eine Politik, die darauf abzielt, in einem marktwirtschaftlichen Ordnungsrahmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern, sollte darauf hinwirken, daß

- umweltverträglichere Verkehrsmittel benutzt werden,
- die Verkehrs-/Transportbedürfnisse verringert werden,
- der spezifische Energiebedarf und die daraus resultierenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen gesenkt werden.

Für alle drei Ansatzpunkte (und die Kombination aus ihnen) stehen unterschiedliche Einzelmaßnahmen aus den Bereichen Flächennutzungs-, Technologie-, Ordnungs-, Preis- und Investitionspolitik sowie Politik zur Veränderung der Organisation und der Einstellungen von Verkehrsteilnehmern zur Verfügung. Durch eine sinnvolle Abstimmung aller Politikbereiche aufeinander werden die Einzelmaßnahmenwirkungen verstärkt und konterkarierende Wirkungen (z.B. durch Ausweichreaktionen) weitgehend verhindert.

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Überlegungen dürfen die folgenden quantitativen Abschätzungen der Minderungswirkungen bestimmter Maßnahmen nicht fehlinterpretiert werden. Sie erlauben lediglich einen groben Vergleich verschiedener Maßnahmen hinsichtlich der Größenordnung ihres CO<sub>2</sub>-Reduktionsbeitrages.

### **3.2 Wirksamkeit von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Die CO<sub>2</sub>-mindernde Wirkung bestimmter Maßnahmen soll zwei Referenzfällen gegenübergestellt werden.

Zunächst wird die Maßnahmenwirkung ermittelt, die eintreten würde, wenn die Maßnahme nicht eingeführt wäre („Ohne-Maßnahmen-Szenario“). Eine solche hypothetische Entwicklung (z.B. ohne Infrastrukturplanung des Bundes und ohne attraktivitätssteigernde Maßnahmen im ÖPNV) ist in einigen Fällen nicht bekannt. Es können dann allenfalls qualitative oder nur sehr grobe quantitative Aussagen gemacht werden.

Darüber hinaus soll die Wirksamkeit bestimmter Maßnahmen in den Jahren 2000 und 2005 an den Ergebnissen der Untersuchung von Prognos über die künftige Entwicklung

der Energiemärkte Deutschlands (Prognos 1995) gemessen werden. Nach dieser Untersuchung wird insgesamt für Deutschland ein Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2005 um 8 % von 990 Mill. t auf 909 Mill. t (2000: 917 Mill. t) erwartet. Lediglich im Verkehrssektor wird mit einem Anstieg um 22 % von 184 Mill. t (1990) auf 224 Mill. t (2000: 223 Mill. t) gerechnet.<sup>20</sup> Die bereits beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen ebenso wie die im Projektionszeitraum konkret zu erwartenden Maßnahmen dürften von Prognos bereits im wesentlichen berücksichtigt sein. In allen diesen Fällen ist ergibt sich im Vergleich zu der von Prognos geschätzten Entwicklung demnach kein zusätzlicher Reduktionsbeitrag, d.h. die Differenz ist „0“. Lediglich bei den zusätzlich vorgeschlagenen Maßnahmen könnte gegenüber Prognos ein Minderungseffekt erzielt werden. Die Wirkungen der Maßnahmen der Maßnahmen werden textlich nur für das Jahr 2005 dargestellt. Die Schätzwerte für 2000 sind den Tabellen 25 und 26 zu entnehmen.

### 3.2.1 Ergriffene Maßnahmen

#### *Erhöhung der Mineralölsteuer (14)*

Die Mineralölsteuer für Vergaserkraftstoffe (VK) wurde seit 1991 um rund 0,40 DM je l erhöht (einschließlich der Erhöhung am 1.1.1991). Bei Dieselmotorkraftstoffen belief sich die Anhebung auf insgesamt 0,17 DM je l. Nominell stiegen die durchschnittlichen Tankstellenabgabepreise bei VK um rund ein Drittel, bei DK um etwa ein Fünftel. Unter dem Aspekt der CO<sub>2</sub>-Reduktion ist diese Maßnahme grundsätzlich positiv zu beurteilen. Über Verteuerungen des Kraftstoffpreises ergeben sich Anreize, die Besetzung und Auslastung der Fahrzeuge zu erhöhen, die Verkehrsmittelwahl zu verändern, kürzere Fahrziele zu wählen und sich allgemein energieverbrauchsbewußter zu verhalten.

Bei unveränderten (nominellen) Tankstellenabgabepreisen im Jahre 2005 würden die (deflationierten) realen Preissteigerungen etwa ein Fünftel (VK) und ein Zehntel (DK) betragen. Unter Zugrundelegung der Annahmen der Prognos-Untersuchung zur Wirk-

<sup>20</sup> Alle Angaben in der sektoralen Abgrenzung von Prognos. Danach werden dem Verkehr auch die auf den internationalen Luftverkehr (aber in Deutschland vertankten) Flugtreibstoffe und die Kraftstoffverbrauchsmengen in den Sektoren Kleinverbraucher sowie bei den militärischen Dienststellen zugerechnet. Dadurch ergeben sich deutliche Unterschiede zu den verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend der IPCC-Systematik und -Abgrenzung.



samkeit von Maßnahmen zur Reduktion der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Prognos 1991) würde sich im Personenverkehr eine CO<sub>2</sub>-reduktionswirksame Fahrleistungsminderung von etwa 4 % (VK) und 2 % (DK) und im Güterverkehr eine von etwa 1 % ergeben. Gegenüber dem „Ohne-Maßnahmen“-Fall beträgt die CO<sub>2</sub>-Minderung etwa 5 Mill. t. Gegenüber dem „Prognos-Referenzfall“ (= „Mit-Maßnahmen“) ergeben sich keine zusätzlichen Wirkungen.

Die Wirkung der Maßnahmen setzt sofort ein, wobei die Wirkungsintensität als im Zeitverlauf abnehmend eingeschätzt wird.

Die zusätzlichen Einnahmen des Bundes aufgrund der Mineralölsteuererhöhungen dürften kumuliert über den Zeitraum 1990/2005 etwa 250 Mrd. DM betragen.

#### *Emissionsbezogene Kfz-Steuer (15)*

Die am 1.4.1994 in Kraft getretene Neuregelung der Kfz-Steuer betrifft ausschließlich den Straßengüterverkehr. Sie hat jedoch keinen Bezug zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Zusammenhang mit anderen eingeführten Maßnahmen ergab sich insgesamt eine Verbilligung des Systems „Straßengüterverkehr“. Hinsichtlich einer CO<sub>2</sub>-Reduzierung ist diese Maßnahme daher eher als kontraproduktiv einzustufen (Hopf, Kuhfeld 1994).

#### *Bundesverkehrswegeplan (16)*

Im Bundesverkehrswegeplan (BVWP 1992) wird explizit darauf hingewiesen, daß mit dem Ziel der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Reduzierung besondere Schwerpunkte im Ausbau der Schieneninfrastruktur, bei attraktivitätssteigernden Maßnahmen für den ÖPNV sowie im Ausbau von Anlagen zur Verkehrsflußsteuerung gesetzt werden. Inwieweit mit den Planungsvorhaben und Mittelansätzen tatsächlich eine umweltverträglichere Verkehrsabwicklung erreicht werden kann, ist unter Experten außerordentlich umstritten. Eine konkrete Beurteilung wird dadurch erschwert, daß es sich erstmals um einen gesamtdeutschen Verkehrswegeplan handelt, bei dem ein überdurchschnittlich hoher Anteil der Investitionssummen den Verkehrsprojekten „Deutsche Einheit“ und dem Nachholbedarf in den neuen Bundesländern zuzurechnen ist. Bereinigt man die Planungsansätze entsprechend, dann liegen die jährlichen Investitionssummen (in konstanten Preisen) z.B. für den Ausbau der Straßeninfrastruktur in den alten Bundesländern sogar noch über den ent-

sprechenden Ansätzen des BVWP '85 und auch immer noch über denen für die Bahn (Voigt 1992). Unabhängig von der Realisierbarkeit einzelner Investitionsvorhaben im Planungszeitraum (bis 2010) ist eine grundsätzlich andere Weichenstellung der Verkehrspolitik zunächst nicht erkennbar. Das Infrastrukturangebot für den motorisierten Individual- und den Straßengüterverkehr, den beiden CO<sub>2</sub>-emissionsintensivsten Verkehrsträgern, wird noch kräftig ausgeweitet.

In der schon erwähnten Prognos-Studie (Prognos 1991) über die Wirksamkeit verkehrlicher CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen bis zum Jahr 2005 wurden 22 Maßnahmen entsprechend untersucht und abschließend zu drei Szenarien gebündelt. Das „Szenario A“ ist von der Vorstellung geprägt, durch eine Politik der Anreize, durch Angebotsverbesserungen von Verkehrsmitteln, -wegen und Verkehrsabläufen und durch öffentliche Appelle an die Einsicht der Verkehrsteilnehmer CO<sub>2</sub>-Einsparungen zu erzielen. Bis auf die „Umstellung der Kfz-Steuer“ (noch nicht eingeführt) und bis auf die Förderung von Güterverkehrszentren und den kombinierten Ladeverkehr der Bahn (nicht berücksichtigt in „Szenario A“, jedoch Bestandteil des BVWP) ist das Szenario relativ deckungsgleich mit den Zielvorgaben des BVWP '92. Die gesamte CO<sub>2</sub>-Reduktion in „Szenario A“ beträgt 7,1 % gegenüber der Trendentwicklung bis zum Jahre 2005 in Westdeutschland. Bei entsprechender Bereinigung dieser CO<sub>2</sub>-Minderungen (s.o.) und unter der Annahme, daß die Verkehrspolitik bei der Umsetzung der Zielvorgaben die gleichen Merkmalsausprägungen (Intensitäten) - wie von Prognos angenommen - zugrundelegt, dürfte sich gegenüber der hypothetischen „Ohne-Maßnahmen“-Verkehrsentwicklung ein CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential von 4 % ergeben. Da ein Teil der Effekte aufgrund von Investitionsstreichungen und -kürzungen - insbesondere bei den Investitionen der Bahn, der Binnenschifffahrt und dem ÖSPV - nur verzögert (nach 2005) oder gar nicht eintritt und unter Berücksichtigung der kontraproduktiven Wirkungen (Straßenbau), dürfte das theoretisch mögliche CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential bis 2005 nicht erschlossen werden können.

Die Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages kommt in ihrem zweiten Zwischenbericht zum Thema „Mobilität und Klima“ unter bestimmten Voraussetzungen - Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung und beschleunigte Umsetzung der gefaßten Beschlüsse - zu einem CO<sub>2</sub>-Minderungspotential von 2 % bis 3 % gegenüber dem „Ohne“-Fall in 2005 (Enquête-Kommission 1994).

Selbst diese relativ geringen Minderungserwartungen, denen von einem Teil der Kommissionsmitglieder sogar noch widersprochen wurde, ist an Voraussetzungen geknüpft, die sich bis 2005 nur eingeschränkt umsetzen lassen, zumal auch Länder und Kommunen als politische Handlungsträger tätig werden müssen.

Aus der Referenzprognose von Prognos für die Entwicklung der Verkehrsleistungen und CO<sub>2</sub>-Emissionen (Prognos 1995) ist im einzelnen nicht ersichtlich, wie die entsprechenden Zielvorgaben des BVWP '92 qualitativ und quantitativ berücksichtigt werden. Die prognostizierten Verkehrssteigerungen des Schienenverkehrs, des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs und der Binnenschifffahrt lassen darauf schließen, daß bei diesen Verkehrsträgern relativ große Attraktivitätssteigerungen erwartet werden und insofern aus den BVWP-Zielvorgaben auch dämpfende Wirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen resultieren. Angesichts der vielen Unwägbarkeiten (Maßnahmenrealisierung, kontraproduktive Effekte) kann eine Quantifizierung hier jedoch nicht vorgenommen werden.

Die konkreten Investitionsmittelansätze in der BVWP '92 lassen eine Differenzierung nach „normalen“ Ausbauvorhaben und Vorhaben, die gezielt CO<sub>2</sub>-Reduktion bewirken sollen, nicht zu. Kosten können mithin ebenfalls nicht benannt werden.

#### *Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) (17)*

Sämtliche Fördermaßnahmen, die die Attraktivität des öffentlichen zu Lasten des motorisierten individuellen Verkehrs in den Städten steigern, sind CO<sub>2</sub>-reduktionswirksam. Die Bundesfinanzhilfen nach Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) wurden für den Zeitraum von 1992 bis 1995 beträchtlich erhöht. Ein Großteil der zusätzlichen Mittel floß jedoch nach Ostdeutschland zur Verbesserung der desolaten Verkehrsinfrastruktur in den Gemeinden (einschließlich des kommunalen Straßenbaus). Ab 1996 sind diese Finanzhilfen wieder auf das „Normalniveau“ (bis 1991 2,6 Mrd. DM, ab 1992 rund 3,3 Mrd. DM, allerdings für Gesamtdeutschland) zurückgeführt worden.

Bedeutsamer für die Attraktivitätssteigerung scheint der Wechsel der Programmkompetenz im Bereich des ÖPNV zu sein. Diese ist weitgehend auf die Länder übergegangen, die gleichzeitig durch zusätzliche Fördertatbestände und eine größere Flexibilität in der

Mittelbewertung nunmehr wesentlich „bedarfsgerechter“ die Mittel einsetzen können (allerdings auch für den kommunalen Straßenbau).

Die aus den genannten Veränderungen resultierenden CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte werden gegenüber dem „Ohne-Maßnahmen“-Fall in Anlehnung an andere Untersuchungen auf etwa 1,5 % geschätzt (3,4 Mill. t CO<sub>2</sub>).

Abgesehen von den Sondermaßnahmen 1992 bis 1995 entstehen für den Bund keine Mehrausgaben. Der Plafondanhebung der GVFG-Mittel (von jährlich 2,6 Mrd. DM auf nunmehr 3,28 Mrd. DM) stehen entsprechend höhere Einnahmen aus der Mineralölsteuer gegenüber.

#### *Gaspendel-Verordnung (18)*

Hierdurch werden die Emissionen von flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC), davon insbesondere das kanzerogene Benzol, verringert (FhG-ISI, Öko-Institut 1997). Die Maßnahme ist nicht direkt CO<sub>2</sub>-reduktionswirksam.

#### *Forschungsprogramm Stadtverkehr (FOPS) (19)*

Das Forschungsprogramm (FOPS) selbst entfaltet unmittelbar keine Wirkung, jedoch unterstützen die Forschungsergebnisse die kommunalen Bemühungen indirekt, z.B. über Modellvorhaben in einzelnen Städten, den Fußgänger- und Fahrradverkehr attraktiver zu gestalten und den ÖPNV - auch organisatorisch - benutzerfreundlicher zu gestalten. Der flächendeckende Nutzen aus diesem Programm kann sich jedoch nur auf mittlere und längere Sicht allmählich durchsetzen.

Die CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte lassen sich aufgrund der verfügbaren Informationen nicht quantifizieren. Sie werden hier auf eine Größenordnung von 1 Mill. t CO<sub>2</sub> geschätzt. Das wären zwar nur 0,5 % der gesamten verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen, aber immerhin 2 % der insgesamt auf Innerortsstraßen emittierten Mengen. Die Kosten sind im Vergleich zum Nutzen marginal.

#### *Verkehrsbeeinflussung durch Verstetigung des Verkehrsflusses (20)*

Verkehrsflußsteuerungssysteme auf Bundesautobahnen sind geeignet, insbesondere bei schlechter Sicht vor Baustellen und vor unfallbedingtem Staus die Geschwindigkeiten

rechtzeitig anzupassen und den Verkehrsfluß damit auf einem energieverbrauchsgünstigeren Niveau zu verstetigen.

Rund 35 % des gesamten deutschen Kraftstoffverbrauchs (16,6 Mill. t) dürften 2005 auf den Autobahnverkehr entfallen (Hopf, Kloas, Rieke et al. 1996). Das entspricht einer CO<sub>2</sub>-Menge von mehr als 61,5 Mill. t bzw. einem Anteil von 27,5 % an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrsbereich.

Prognos hat in seiner Reduktionsstudie auch den Einfluß von Verkehrsflußsteuerungsanlagen auf allen Außerortsstraßen (einschließlich Bundesautobahnen) auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht (Prognos 1991) und kam unter idealtypischen Bedingungen zu einem Reduktionspotential von rund 5 % (bezogen auf die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors in Westdeutschland). Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, daß flankierende staatliche (preisliche) Maßnahmen notwendig werden können, um dieses Potential zu erschließen. Verkehrsflußsteuerungsanlagen verstetigen nicht nur die Verkehrsströme, sondern vergrößern über eine erhöhte Durchsatzfähigkeit indirekt auch die Kapazität des Straßennetzes, sie wirken möglicherweise also verkehrsinduzierend.

Bei nur punktuellen Streckenbeeinflussungen ist eine verkehrsinduzierende Wirkung jedoch praktisch auszuschließen. Unter der Voraussetzung, daß das Programm zur Verkehrsbeeinflussung über 1997 hinaus fortgeschrieben wird, könnten in 2005 die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Bundesautobahnen um etwa 1 % bis 2 % verringert werden. Im „Ohne-Maßnahmen“-Fall wären sie mithin um etwa 1,2 Mill. t höher.

Bei einer Fortsetzung des Programms bis 2005 dürften sich Gesamtkosten von rund 1,5 Mrd. DM ergeben.

#### *Informationen zum energiesparenden und umweltfreundlichen Verkehrsverhalten (21)*

Für eine erfolgreiche CO<sub>2</sub>-Reduktionspolitik sind Informationen und Aufklärungsarbeit über die Auswirkungen der negativen Folgen besonders des Straßenverkehrs sowie Anleitungen zum energiesparenden und umweltfreundlichen Verkehrsverhalten eine unerläßliche flankierende Begleitmaßnahme. Die bisherigen politischen Arbeiten in diesem Bereich - Broschüren vom BMV, BMWi und BMU - haben allerdings noch nicht den

Charakter einer breit angelegten Kampagne, auf die nennenswerte CO<sub>2</sub>-Reduktionen zurückgeführt werden könnten.

*Forschungsvorhaben und Information über Stadtverkehrsplanung und umweltschonenden Stadtverkehr (22)*

Verkehrsberuhigungsmaßnahmen in den Städten - wie Fußgängerzonen, Ausdehnung der 30 km/h-Zonen - verbessern zweifelsohne die Lebenssituation vor Ort. Flächendeckende Untersuchungen über die CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen nicht vor. Die Diskussion über die Gesamtbilanz von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen hinsichtlich der Luftschadstoffemissionen wird im übrigen kontrovers geführt. Die Kritiker weisen u.a. darauf hin, daß sich über erhöhten Parkplatzsuchverkehr, dem (bei 30 km/h) vermehrten Fahren im 2. Gang sowie einem Ausweichen (bei Einkaufsfahrten) auf die „grüne Wiese“ in Bezug auf Kraftstoffverbrauch und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen kontraproduktive Effekte einstellen. Die möglichen gegenläufigen Wirkungen sind bisher noch nicht umfassend untersucht worden. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand dürften die Wirkungen insgesamt positiv sein; sie lassen sich allerdings nicht exakt quantifizieren.

*Strukurreform der Bahn (23)*

Öffentlichen Unternehmen schreibt man generell eine geringere Flexibilität und eine größere Schwerfälligkeit bei der Anpassung an veränderte Marktbedingungen zu. Inwieweit sich die mit der Privatisierung der Bahn verknüpften Hoffnungen, die Bahn könne als privatwirtschaftliches Unternehmen marktgerechter operieren und sich - besonders im Güterverkehr - verloren gegangene Marktanteile von der Straße zurückholen, erfüllen werden, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Die Verkehrsanteile gehen derzeit tendenziell eher weiter zurück.

Die Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages hat das CO<sub>2</sub>-Minderungspotential durch Verkehrsverlagerungen vom Straßenverkehr auf die Bahn unter bestimmten Voraussetzungen - wie beschleunigte Planung, verbesserte Angebote für bahnaffine Verkehre, verstärkte Einbindung in regionale Verkehrskonzepte, harmonisierte europäische Bahnreform sowie technische und organisatorische Harmonisierung auf europäischer Ebene - auf etwa 3 % bis 4 % geschätzt (Enquête-Kommission 1994, S. 129). Nur ein Bruchteil dieser Voraussetzungen dürfte bis 2005 umgesetzt sein. Aus der Referenzpro-

gnose von Prognos ist explizit nicht ersichtlich, ob und inwieweit die „neue“ Qualität der Bahn berücksichtigt wurde. Für die Verkehrsleistungen im Güterverkehr der Bahn im Jahr 2005 wurden etwa 106 Mrd. tkm geschätzt. Das wäre gegenüber dem Ist-Zustand eine Steigerung um 50 %. Offensichtlich sind Annahmen über ein generell verbessertes Leistungsangebot der Bahn getroffen worden. Die auf Leistungsverbesserungen im Zusammenhang mit der Bahnreform zurückzuführenden Verkehrsgewinne sind nicht quantifizierbar, ebensowenig wie die dafür erforderlichen Bundesmittel.

#### *Güterverkehrszentren (24)*

Die Auswirkungen von Güterverkehrszentren (GVZ) auf den Energieverbrauch und damit auch auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind umstritten. Durch die Bündelungsmöglichkeiten von Verkehrsströmen ergeben sich tendenziell zwar größere Chancen für die Bahn, jedoch muß auch der Energieverbrauch in den GVZ gegengerechnet werden. Konkrete Wirkungsaussagen sind derzeit nicht möglich, zumal auch nicht absehbar ist, wieviel GVZ bis 2005 zusätzlich in Betrieb gehen werden.

Prognos hat die CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale aus einer verstärkten Förderung von GVZ und kombinierten Verkehren (2005/1990) auf etwa 1,2 % geschätzt (Prognos 1991, S. 250). Begründet wurde dies mit Verkehrsverlagerungen von der Straße zur Schiene und einer verbesserten Auslastung im Straßengüterverkehr. Da hier nur GVZ betrachtet werden und auch angesichts der vielen sonstigen Unwägbarkeiten, die mit der Errichtung neuer GVZ verbunden sind, wird hier lediglich ein CO<sub>2</sub>-Minderungspotential von 1 Mill. t gegenüber dem „Ohne-Maßnahmen“-Fall angenommen.

#### *Kombi-Verkehre über Wasserstraßen (25)*

Jede betriebliche Fördermaßnahmen für die Binnenschifffahrt wirkt sich positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Verkehrssektors aus. Die Binnenschifffahrt hat den geringsten spezifischen Energieverbrauch (kJ/tkm). Sie konkurriert auf den Güterverkehrsmärkten in erster Linie aber mit der Bahn und nicht mit dem Lkw. Stärkere Verkehrsverlagerungen auf die Binnenschifffahrt aufgrund staatlicher Fördermaßnahmen dürften daher tendenziell eher den Schienen- und weniger den Straßenverkehr treffen und daher auch nur geringfügig die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern. Heute sind Kombi-Verkehre bei der Binnenschifffahrt noch relativ bedeutungslos. Im übrigen sind derzeit noch keine gezielten Aktivitäten

zugunsten einer stärkeren Förderung dieser Verkehrsart erkennbar. Selbst eine starke Ausdehnung dieser Verkehre könnte nur marginale CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte haben.

#### *Forschungsprogramm „Schadstoffe in der Luftfahrt“ (26)*

In diesem Forschungsprogramm geht es in erster Linie um die Wirkungen der Schadstoffe. NO<sub>x</sub>-Emissionen stehen dabei im Mittelpunkt des Interesses. CO<sub>2</sub>-mindernde Wirkungen dürften sich hierdurch nicht erzielen lassen.

#### *Verkehrsforschung (27)*

Die Vielzahl der ressortübergreifenden FuE-Maßnahmen in allen Verkehrssystemen hat zweifelsohne CO<sub>2</sub>-Reduktionen bewirkt, die weit über denen anderer Maßnahmen liegen. Sie sind verkehrssystemübergreifend allerdings nicht quantifizierbar. Auch die dafür aufgewendeten Bundesmittel können hier nicht benannt werden.

#### *Tarifaufhebungsgesetz (28)*

Es ist bisher nicht erkennbar, daß durch die Aufhebung der Tarifbindung im Straßengüterverkehr die Lkw-Unternehmen aufgrund eines erhöhten Wettbewerbsdrucks Leerfahrten vermeiden und die Fahrzeuge besser auslasten. Zu beobachten ist vielmehr ein verstärktes Vordringen des Straßengüterverkehrs - auch wegen der parallel laufenden Aufhebung der Kabotagevorbehalte für ausländische Fuhrunternehmer - in die Bereiche von Bahn und Binnenschifffahrt. Erst die noch ausstehende Harmonisierung der fiskalischen, technischen und sozialen Rahmenbedingungen auf hohem Niveau in ganz Europa in Verbindung mit streckenbezogenen Straßenbenutzungsgebühren könnte hier etwas bewirken. Unter den derzeitigen Bedingungen muß das Tarifaufhebungsgesetz in Bezug auf eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen eher als kontraproduktiv bezeichnet werden (DIW et al. 1994, S. 57 ff).

#### *Gebühren für die Benutzung bestimmter Straßen (93)*

Diese Maßnahme zielt ausschließlich auf den Straßengüterverkehr. Die Einführung der Autobahnvignette zum 1.1.1995 hatte primär keine umweltpolitischen Ziele, sondern war in erster Linie dazu gedacht, ausländische Fuhrunternehmer stärker an den deutschen Wegekosten zu beteiligen, die Wettbewerbsposition der deutschen Fuhrunternehmen zu verbessern und die weitere Expansion des Autobahnverkehrs zu dämpfen. Sie gilt aller-



dings nur im Verbund mit den Benelux-Staaten und Dänemark und auch nur für schwere Lkw ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht (für Lkw mit 2 Achsen rund 1 500 DM, für Lkw mit 4 u.m. Achsen rund 2 500 DM p.a.).

Die Beurteilung dieser Gebühr unter CO<sub>2</sub>-Minderungsaspekten kann nur negativ ausfallen. Erstens handelt es sich um eine zeitraum- und nicht streckenbezogene Gebühr - ähnlich der Kfz-Steuer -, die keinerlei Anreize bietet, weniger zu fahren. Es lohnt sich vielmehr, viel zu fahren, um die aus der Gebühr resultierende zusätzliche Kostenbelastung je km möglichst weit nach unten zu drücken. Wird auf die nachgeordneten Straßenkategorien ausgewichen, kann man der Gebühr sogar ganz entgehen. Zweitens muß diese Gebühr auch im Kontext mit den anderen beschlossenen und umgesetzten ordnungspolitischen und steuerlichen Regelungen gesehen werden:

- die Senkung der deutschen Kfz-Steuer (ab 1.4.94) für z.B. einen 40 t-Lastzug von 10 500 DM auf 2 800 DM (Euro II-Fahrzeuge), 3 500 DM (Euro I-Fahrzeuge) und 5 000 DM (Altfahrzeuge),
- die Erhöhung der Mineralölsteuer auf Dieselmotoren um 7 Pf/l (ab 1.1.94) sowie
- die kräftige Aufstockung der Kabotagekontingente (ab 1994) bis zur vollständigen Aufhebung sämtlicher Kabotagevorbehalte (ab 1998).

Die Einführung der Euro-Vignette und die Erhöhung der Mineralölsteuer kompensieren nicht die aus der Entlastung bei der Kfz-Steuer und aus dem verstärkten Vordringen ausländischer Lkw (Kabotagelockerung) - mit geringerer Kostenbelastung - resultierenden Wirkungen. Das System „Straßengüterverkehr“ ist in der Summe billiger geworden. Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen ergaben sich eher kontraproduktive Effekte. Auch die aktuell diskutierte Verdoppelung oder Verdreifachung des Preises für die Vignette ist in bezug auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion als äußerst marginal einzuschätzen.

#### *Standortkonzeption der Bahn (95)*

Ziel ist es, im Jahre 2010 knapp 100 Mill. t im kombinierten Verkehr (KLV) der Bahn zu transportieren. Das wären unter Berücksichtigung der beim KLV in der Regel erforderlichen Vor-/Nachläufe mit Lkw insgesamt eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von etwa 1,5 bis 2 Mill. t.

Heute befördert die Bahn in Gesamtdeutschland rund 30 Mill. t im KLV, eine Transportmenge, die nicht wesentlich über der von 1990 in Westdeutschland liegt. Natürlich können sich Investitionen im kombinierten Verkehr erst mittel- bis langfristig auszahlen, jedoch wird offenkundig, daß die Zielvorstellung (100 Mill. t) sehr optimistisch ist und es sehr großer Anstrengungen seitens der Bahn bedarf, um diesen Wert auch nur annähernd zu erreichen. Für das Jahr 2005 wird hier deshalb lediglich ein CO<sub>2</sub>-Minderungspotential von 1 Mill. t angenommen. Da KLV-Planungen bei Prognos bereits berücksichtigt wurden, entsteht eine Minderung nur gegenüber dem "Ohne-Maßnahmen"-Fall.

Die hierfür erforderlichen Bundesmittel werden bis 2005 auf 3 Mrd. DM geschätzt und sind im BVWP '92 bereits vorgesehen.

#### *Änderung der gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien (98)*

Die Anordnung, bei allen Gesetzen und Rechtsverordnungen der Ministerien auch die verkehrlichen und ökologischen Auswirkungen anzugeben, ist grundsätzlich positiv zu beurteilen. Sie bleibt jedoch wirkungslos, wenn keine „ex-post“-Wirkungsanalyse durchgeführt wird, so daß mögliche Fehleinschätzungen der verkehrlichen und damit auch ökologischen Folgen bei anderen Gesetzen und Verordnungen vermieden werden können.

#### *Verlagerung des internationalen Transitverkehrs von der Straße auf die Schiene und das Schiff (100)*

Nach allgemeiner Einschätzung fördert die Einführung des EG-Binnenmarktes den Warenaustausch zwischen den EG-Mitgliedsländern und den zwischen der EG und den übrigen Ländern. Die Transit- und grenzüberschreitenden Verkehre werden überproportional wachsen. Hier hat die Bahn in der Vergangenheit absolut und relativ erheblich an Bedeutung verloren, obwohl theoretisch ihre Systemstärken gerade auf den grenzüberschreitenden Relationen (Transport in geschlossenen Zügen und Warengruppen über weite Entfernungen) voll zum Tragen kommen mußten.

Im Zeitraum 1973 bis 1990 stagnierte der gesamte Binnenverkehr, während der grenzüberschreitende Versand und Empfang sowie der Durchgangsverkehr Wachstumsraten von 30 %, 24 % bzw. 90 % aufwiesen. Während die Binnenschifffahrt und vor allem der

Lkw von den Steigerungen auf den internationalen Relationen stark profitierten, hatte die Bahn hier einen Verlust von insgesamt rund 3 Mill. t zu verzeichnen. Rund ein Viertel der Gesamttransporte entfallen bei der Bahn auf die internationalen Verkehre; sie erzielt dort mehr als ein Drittel ihrer gesamten Einnahmen. Dies verdeutlicht einerseits die derzeitigen Schwächen der Bahn, zeigt andererseits für sie aber auch genauso stringent eine Hauptrichtung verstärkter Anstrengungen um erhöhte Marktanteile auf.

Jede Initiative und Maßnahme, die die Bahn hier unterstützt, ist daher à priori zu begrüßen. Eine gezielte Förderung ist bisher allerdings nicht erkennbar. Da der Bahnverkehr ohnehin schwächer wächst als in den Prognosen, die dem BVWP zugrundeliegen, müßten ohne zusätzliche Ausbaumaßnahmen die Kapazitäten vorhanden sein. Die Fördermaßnahmen für den Transitverkehr dürften sich gegenüber dem „Ohne-Maßnahmen“-Fall in einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von 0,5 Mill. t niederschlagen. Die Kosten sind im BVWP '92 bereits berücksichtigt.

#### ***Fazit: Wirkungen der ergriffenen Maßnahmen***

In Tabelle 25 sind noch einmal alle bisher ergriffenen Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor kurz skizziert und mit ihren geschätzten Wirkungen ausgewiesen worden. Vom Ergebnis her ist festzustellen, daß diese Maßnahmen bei weitem nicht ausreichen, um den weiteren Anstieg der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auch nur annähernd zu dämpfen. Die Verkehrslawine überrollt alle bisherigen Einsparbemühungen. Außerdem steht bei einigen Maßnahmen zu befürchten, daß kontraproduktive Effekte ausgelöst werden. Das gilt insbesondere für die Maßnahmen, die im unmittelbaren oder mittelbaren Zusammenhang mit dem BVWP '92 stehen.

Hinzu kommt, daß die Verkehrs- und damit auch die Emissionsentwicklung in Deutschland nicht mehr unabhängig vom europäischen Kontext gesehen werden kann. Viele Schritte in Richtung umweltverträglicher Verkehrsabläufe, die national eingeleitet wurden/werden sollten, bedürfen zunehmend europäischer Zustimmung. In einigen EU-Ländern hat die Ökonomie noch immer eindeutig Vorrang vor der Ökologie. Die seinerzeit geplante Schwerverkehrsabgabe für ausländische Lkw auf deutschen Autobahnen (untersagt vom Europäischen Gerichtshof), die bisher noch nicht zustande gekommene Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer sowie die Besteuerung von Flugkraftstoffen in der gewerblichen Luftfahrt sind hierfür nur Beispiele.

Tabelle 25:

Von der Bundesregierung ergriffene Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehr

IMA Nr.	Maßnahme	Wirkungsbereich	Beginn der Wirksamkeit	Wirksamkeit im Zeitablauf	Wirkung der Maßnahme <sup>1</sup> in Mill. t CO <sub>2</sub>		Wirkung gegenüber Referenzfall <sup>2</sup> in Mill. t CO <sub>2</sub>		Bundesmittel in Mrd. DM
					2000	2005	2000	2005	
14	Erhöhung der Mineralölsteuer	Fahrtleistungsminderung im Personenvorkehr und eingeschränkt im Güterverkehr	sofort	abnehmend	3,5	5,0	-	-	Zusätzliche Einnahmen von 1990 bis 2005: 250 Mrd. DM
15	Emissionsbezogene Kfz-Steuer (1. Stufe)	Eher kontraproduktiv	X	X	X	X	X	X	Einnahmensenkung
16	Bundesverkehrswegeplan 1992	Positive Beeinflussung der Verkehrsanteile von Bahn, ÖSPV und Binnenschifffahrt; Verstärkung des Verkehrsflusses auf Autobahnen; allerdings auch kontraproduktive Wirkungen durch Straßennetzerweiterung	X	X	X	X	X	X	nicht quantifizierbar
17	Steigerung der Attraktivität des ÖPNV	Höhere Verkehrsanteile von Bussen und Bahnen, Fußgänger und Fahrradfahrer	mittel- und langfristig	leicht steigend	3,0	3,4	-	-	nicht quantifizierbar
18	Gespardet-VO	Keine CO <sub>2</sub> -relevanten Wirkungen	X	X	-	-	-	-	-
19	Forschungsprogramm Stadtverkehr (FOPS)	Fahrtleistungsminderung im städt. Autoverkehr; Stärkung von ÖPNV, Fuß- und Radwegen	mittel- und langfristig	leicht steigend	0,5	1,0	-	-	0
20	Verkehrsbeeinflussung durch Verstärkung des Verkehrsflusses	Senkung des Kraftstoffverbrauchs durch stetigere Fahrweise und geringere Durchschnittsgeschwindigkeiten	sofort	steigend	0,5	1,2	-	-	1,5
21	Informationen zum energiesparenden und umweltfreundlichen Verkehrsverhalten	Fahrtleistungsminderung im Individualverkehr; Senkung des spezifischen Durchschnittsverbrauchs	sofort	steigend	-	-	-	-	0
22	Forschungsverhaben und Information über Stadtverkehrsplanung und umweltschonenden Stadtverkehr	Effekte hinsichtlich der CO <sub>2</sub> -Emissionen nicht ermittelbar	sofort nach Umsetzung	stetig	nicht quantifizierbar				
23	Strukturreform der Bahn	Höhere Verkehrsanteile der Bahn	keine Aussage möglich	tendenziell steigend	nicht quantifizierbar				
24	Güterverkehrszentren	Verkehrsverlagerungen zur Bahn; höhere Auslastung im Straßengüterverkehr	nach Inbetriebnahme	tendenziell steigend	0,5	1,0	-	-	GVFG-Mittel
25	Kombi-Verkehr über Wasserstraßen	Verkehrsverlagerungen zur Binnenschifffahrt	mittelfristig	steigend	0,0	0,0	-	-	0
26	Forschungsprogramm "Schadstoffe in der Luftfahrt"	Wirkungsuntersuchung der Schadstoffemissionen im Luftverkehr	mittelfristig bis langfristig	steigend	-	-	-	-	nicht bekannt
27	Verkehrsforschung	Senkung des spezifischen Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen aller Verkehrsträger	keine Aussage möglich	stetig	groß, aber nicht quantifizierbar				hoch
28	Tarifauflösungsgesetz	Von 1993 an Aufhebung sämtlicher Kabinengebühren für EU-Unternehmen. Expansion der Fahrtleistungen des Straßengüterverkehrs zu Lasten von Bahn und Binnenschifffahrt	sofort, aber in negativer Richtung	mittelfristig (von 1993 an) zunehmend	kontraproduktiv				keine
93	Gebühren für die Benutzung bestimmter Straßen (Euro-Vignette)	Stärkere Wettbewerbsposition des Straßengüterverkehrs	sofort nach Einführung	stetig	eher kontraproduktiv				Einnahmen
95	Standortkonzeption der Bahn	Fahrtleistungsminderungen im Straßengüterverkehr; Verkehrsverlagerungen zur Bahn	sofort	allmählich steigend	0,3	1,0	-	-	3 Mrd. DM
98	Änderung der gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien	Sorgfältigere Prüfung der Verkehrs- und Umweltfolgen von Gesetzen und Verordnungen	sofort nach Umsetzung	gleichbleibend gering	0,0	0,0	-	-	-
100	Verlagerung des internationalen Transports von der Straße auf Schiene und Schiff	Fahrtleistungsminderung im Straßengüterverkehr	mittelfristig	steigend	0,1	0,5	-	-	nicht quantifizierbar
	Summe <sup>3</sup> der bisher ergriffenen Maßnahmen	Verkehrsverlagerung; -vermeidung; -verstärkung; bessere Technik; aber auch kontraproduktive Effekte	Angabe nicht sinnvoll	stetig	6 bis 10	9 bis 16	-	-	nicht quantifizierbar

<sup>1</sup> Jeweils bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen 2005 im "Ohne-Maßnahmen"-Fall. - <sup>2</sup> Jeweils bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsprognose des Verkehrssektors für 2005 von Prognos. - <sup>3</sup> Die Einzelwerte sind aufgrund der vielfach nicht quantifizierbaren Wirkungen nicht addierbar.

Gleichwohl wären im nationalen Bereich durchaus Spielräume für mehr verkehrliche Energie- und Umwelteffizienz vorhanden gewesen. Niemand hätte die Bundesregierung z.B. daran gehindert, im Zuge der Einführung der Euro-Vignette die deutschen Kfz-

Steuersätze auf einem deutlich höheren Niveau nach Umweltkriterien zu differenzieren. Viele Einzelmaßnahmen erfordern in der Regel eine Vielzahl von flankierenden Maßnahmen, um wirksam zu sein. So ist die verstärkte Förderung kombinierter Verkehre auf Schiene und Wasserstraße grundsätzlich positiv zu bewerten. Sie ist jedoch relativ wirkungslos, wenn sich gleichzeitig die Rahmenbedingungen für den Straßengüterverkehr erheblich verbessern (Aufhebung der Tarifbindung, kräftiger Ausbau des Straßennetzes sowie ab 1998 vollständige Aufhebung der Kabotagevorbehalte auf EU-Ebene). Erforderlich ist eine konsistente, in wichtigen Grundsätzen in sich abgestimmte Verkehrspolitik, die Minderungserfolge einzelner Maßnahmen durch andere nicht wieder in Frage stellt.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die ermittelten CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekte der Einzelmaßnahmen keinesfalls addierbar sind. Zum einen schließen einige Maßnahmen (z.B. BVWP '92) andere Maßnahmen (wie verstärkte Förderung kombinierter Verkehre) ein, zum anderen handelt es sich vielfach um im Zeitablauf nicht vollständig und auch unterschiedlich umgesetzte Einzelmaßnahmen. Angesichts der vielen Unwägbarkeiten, der häufig nicht quantifizierbaren Wirkungen sowie der kontraproduktiven Wirkungen einzelner Maßnahmen kann nur eine Spanne für die gesamten CO<sub>2</sub>-Minderungen durch die bisher ergriffenen Maßnahmen angegeben werden, die ihrerseits höchst unsicher ist.

Das CO<sub>2</sub>-Minderungspotential aus den bisher ergriffenen Maßnahmen, das bis zum Jahre 2005 ausgeschöpft werden dürfte, wird auf eine Größenordnung von 9 bis 15 Mill. t CO<sub>2</sub> veranschlagt.

### **3.2.2 Weitere Maßnahmen**

#### **3.2.2.1 Vorbemerkungen**

Die Bundesregierung hat neben den bereits ergriffenen Maßnahmen weitere Maßnahmen konzipiert und vorgesehen, die bisher allerdings noch nicht in die Realität umgesetzt worden sind. Teilweise sind diese Maßnahmen in ihrer Ausprägung und Ausgestaltung noch nicht präzisiert und definiert worden, teilweise ließ sich eine Umsetzung aufgrund erheblicher nationaler und europäischer Widerstände bisher nicht verwirklichen. Diese

Maßnahmen werden im folgenden behandelt. Darüber hinaus werden zusätzliche Maßnahmen zur Reduktion der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht, die aktuell diskutiert werden.

In der verkehrspolitischen Diskussion und in der verkehrswissenschaftlichen Literatur sind inzwischen zahlreiche Vorschläge gemacht worden, um die negativen Folgewirkungen des Verkehrs auf Umwelt und Klima zu verringern. Insbesondere unter den Stichworten „Transportverlagerung“, „Verkehrsvermeidung“, „Verkehrsrationalisierung“ sowie „Telematik“ und „bessere Technik“ wird eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten für mehr Umweltverträglichkeit angeboten. Patentrezepte zur umweltverträglicheren Gestaltung des Verkehrs gibt es allerdings nicht.

Die meisten Kritiker führen die im Hinblick auf Umweltziele, Flächenverbrauch und Lebensqualität unzulänglichen Ergebnisse des Marktes für Verkehrsleistungen auf die fehlenden bzw. ungenügenden ökonomischen Anreizmechanismen zurück. „Wenn die Umweltnutzung weder als Kostenfaktor noch als Erlös Komponente im Marktgeschehen Berücksichtigung findet, kann die gewünschte Erhaltung von Umweltressourcen nicht als Ergebnis individueller Planungen erwartet werden ... Im Ergebnis wird im Verkehrssektor ein verschwenderischer Umgang mit natürlich Ressourcen gefördert, der durch andere Subventionstatbestände noch gesteigert werden kann“ (Wissenschaftlicher Beirat 1992). Der Staat hat die Weichen nicht richtig gestellt. „Die entscheidende Vorbedingung ist, daß ökonomische Anreizmechanismen geschaffen und ausgebaut werden, damit die Menschen das knappe Gut Umwelt sparsam nutzen. Das umweltschonende Wirtschaftswachstum ist anders strukturiert als das umweltbelastende, es allein erfordert die Wohlfahrt aller Bürger“ (Sachverständigenrat 1990). Bei volkswirtschaftlich „richtigen“ Preisen in Verbindung mit ordnungs- und infrastrukturpolitischen Maßnahmen kann die Verkehrsnachfrage so beeinflusst werden, daß insgesamt weniger Verkehrsleistungen (Verkehrsvermeidung) und/oder verstärkt umweltfreundlichere Verkehrsmittel (Verkehrsverlagerung) nachgefragt werden, daß im Ergebnis der Umweltverbrauch also geringer ist.

Ob mit volkswirtschaftlich „richtigen“ Preisen zwangsläufig ökonomische Zielsetzungen - im Sinne einer „richtigen“ Mengensteuerung des Verkehrs sowie des Umweltver-

brauchs - erreicht werden können, muß allerdings bezweifelt werden. Gleichwohl bilden preispolitische Maßnahmen den Kern vieler Vorschläge für mehr Umwelteffizienz. Unabhängig von der politischen Durchsetzbarkeit werden zwei markante Merkmalsausprägungen davon näher untersucht, nämlich die Straßenbenutzungsgebühren sowie eine drastische Anhebung der Kraftstoffpreise. Weiterhin sollen als im Sinne einer CO<sub>2</sub>-Minderung erfolgversprechende Einzelmaßnahmen eine allgemeine Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (auf allen Außerortsstraßen), die Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten sowie eine allgemeine Schulung in energiesparender Fahr- und Verhaltensweise analysiert werden. Darüber hinaus wird jeweils ein „Instrumentenmix“ für den Personen- und Güterverkehr in bezug auf die CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale untersucht.

In der Reihenfolge der Bearbeitung handelt es sich also um folgende Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel, die zusätzlich vorgeschlagen werden:

- Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf deutschen Autobahnen (T 100, T 120 und T 130: BAB; T 80: sonstige Außerortsstraßen - ZV 1;
- Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten für Pkw - ZV 2;
- drastische Anhebung des Kraftstoffpreises (3 DM/l VK und DK) - ZV 3;
- fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren (road pricing) - ZV 4;
- allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz - ZV 5;
- Maßnahmenbündel im Personenverkehr - ZV 6;
- Maßnahmenbündel im Güterverkehr - ZV 7.

### **3.2.2.2 Von der Bundesregierung vorgesehene sowie zusätzlich vorgeschlagene Maßnahmen**

#### *Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer (91) .*

Entscheidend für die Reaktionen im Straßenverkehr sind weniger die Mineralölsteuersätze als vielmehr die Kraftstoffpreise. Die Kraftstoffpreise (DM/l VK bzw. DK) sind in den EU-Ländern derzeit aufgrund unterschiedlicher Mineralölsteuersätze höchst unterschiedlich, so daß es in vielen Fällen zu einem „Tanktourismus“ kommt. Bei der Mineralölsteuer auf DK liegt Deutschland (Stand April 1996: 329 ECU/1000 l) um rund ein Drittel

über dem derzeit gültigen EU-Mindestsatz (245 ECU) und wird lediglich von Frankreich (354), Italien (361) und England (406) übertroffen (Kinnock 1996). Bei VK liegt Deutschland eher am unteren Ende der EU-Skala. Bei dem Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern, wäre es nicht nur sinnvoll, die Mindestsätze anzuheben, sondern auch stärker zu harmonisieren, um kontraproduktive Effekte („Tanktourismus“) zu vermeiden. Die Bundesregierung hat bisher ihre Pläne und Absichten hierzu nicht konkretisiert, so daß es sich eigentlich nicht um eine „vorgesehene“ Maßnahme im engeren Sinne handelt.

Spürbare Effekte für die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden sich nur dann ergeben, wenn die EU-Mindestsätze so angehoben werden, daß alle Länder die Kraftstoffpreise kräftig erhöhen und zugleich stärker harmonisieren würden. Im folgenden wird für 2005 ein nominaler Kraftstoffpreis von 2,- DM/l DK und VK als Folge einer Anhebung der EU-Mindestsätze für die Mineralölsteuer angenommen. Auf EU-Ebene dürfte bis 2005 eine kräftigere Erhöhung kaum durchsetzbar sein. Inflationsbereinigt - bei unterstellter jährlicher Preissteigerungsrate für die Lebenshaltung von 2,5 % wäre dies eine reale Kraftstoffpreisverteuerung (VK) von etwas mehr als einem Zehntel, bei DK wäre sie etwas größer. Bei Unterstellung der üblicherweise angenommenen Preiselastizitäten - bei Prognos -0,3 (Prognos 1991, S. 74) - ergäbe sich im motorisierten Individualverkehr eine Fahrleistungsreduktion von etwa 3,5 %. Die Autofahrer würden möglicherweise kürzere Ausflugsfahrten machen, verstärkt auf öffentliche Verkehrsmittel umsteigen oder zu Fuß gehen und mit dem Fahrrad fahren, sich energieeffizienter verhalten und Autos mit geringeren spezifischen Verbrauchswerten kaufen und letztendlich die Fahrzeuge auch besser auslasten (höherer Besetzungsgrad).

Im Straßengüterverkehr sind die Reaktionen auf Kraftstoffpreiserhöhungen als wesentlich geringer einzuschätzen. Aber auch hier sind einige der oben beschriebenen Reaktionsmöglichkeiten - zumal die angenommene reale Verteuerung bei DK größer als bei VK ist - wahrscheinlich (1 % bis 1,5 %).

Aufgrund der Verkehrsverlagerungen zu anderen Verkehrsträgern - die hier unterstellten Preiserhöhungen führen bei Bahn, Binnenschiff und öffentlichen Verkehrsmitteln allerdings nur zu geringfügig höheren Energieverbrauchswerten - und auch wegen der unterschiedlichen Gewichte von Individual- und Straßengüterverkehr wird das CO<sub>2</sub>-



reduktionswirksame Potential des Straßenverkehrs insgesamt auf etwa 3 % geschätzt. Wie bei den bereits realisierten Mineralölsteueranhebungen (vgl. Maßnahme 14) wären die Wirkungen nahezu gleich, nämlich 5 Mill. t CO<sub>2</sub>.

Kosten für den Bundeshaushalt entstehen nicht.

#### *Emissionsbezogene Kfz-Steuer (2. Stufe) (92)*

Ein Gesetzentwurf der Bundesregierung (Deutscher Bundestag 1996) sieht vor, bei der Kfz-Steuer künftig stärker die Schadstoffemissionen zu berücksichtigen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen allerdings nicht in die Bemessungsgrundlage der Kfz-Steuer ein. Allerdings sollen Fahrzeuge mit nicht mehr als 90 g CO<sub>2</sub>/km - dies entspricht 3,8 l VK/100 km bzw. 3,4 l DK/100 km - befristet (6 Jahre) von der Kfz-Steuer befreit sein und später niedrigeren Steuersätzen unterliegen. Da das 3 l-Auto - orientiert an realistischen Fahrzyklen - noch nicht in Sicht ist, die Kfz-Steuerbefreiung nur 6 Jahre gegolten hätte und die EU die Verabschiedung des Gesetzes vorerst - gerade wegen dieser Komponente des neuen Gesetzes - verhindert hat (Wettbewerbsverzerrung), sind mit Sicherheit keine CO<sub>2</sub>-reduktionswirksamen Effekte zu erwarten, unabhängig davon, wie die Regelung letztlich aussehen wird (UBA 1996). Da bei einem 3 l-Auto auch der Hubraum - an dem wird die Kfz-Steuer bemessen - erheblich kleiner als bei einem heutigen Durchschnittsauto ist, wären während der befristeten Kfz-Steuerbefreiung für den Käufer eines 3 l-Autos ohnehin nur rund 50 DM p.a. einzusparen gewesen. Derart geringe Beträge haben keine Lenkungswirkung.

#### *CO<sub>2</sub>-Emissionen bei neuen Kfz (94)*

Nach dieser Maßnahme (Kommission der EU o.J.) soll mittels einer zeitlich gestuften Reduzierung von Richtwerten für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von möglichst 5 l/100 km (VK-Fahrzeuge) und 4,5 l (DK-Fahrzeuge) für im Jahr 2005 neu zum Verkehr zugelassene Pkw erreicht werden.

Der heutige Durchschnittsverbrauch neu zugelassener Benzinfahrzeuge liegt bei 8,6 l/100 km, der des Bestandes bei 9,2 l/100 km. Bei Dieselfahrzeugen betragen die entsprechenden Werte jeweils 7,5 l. Es ist offenkundig, daß die oben genannten Zielwerte - unter Berücksichtigung des für die Umsetzung noch zur Verfügung stehenden Zeitraumes - voll-

kommen unrealistisch sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn nicht die bis Ende 1996 gültigen - auf unrealistischen Fahrzyklen beruhenden - DIN-Verbrauchswerte, sondern die tatsächlichen Verbrauchswerte zur Meßplatte der EU-Zielwerte gemacht werden (BMU 1996). Bei Benzinfahrzeugen müßte der Verbrauch der Neufahrzeuge in den kommenden 9 Jahren dann um 42 % und bei Dieselfahrzeugen um 40 % gesenkt werden. In den vergangenen 9 Jahren wurden die entsprechenden durchschnittlichen Verbrauchswerte lediglich um 5 % (VK-Fahrzeuge) bzw. 7 % (DK-Fahrzeuge) verringert. Skeptisch scheint auch der Rat der Europäischen Umweltminister, der sich auf diese Zielwerte (5 l VK bzw. 4,5 l DK/100 km) geeinigt hat, selbst zu sein. Er räumt schon jetzt eine Verlängerung der Frist bis 2010 für das Erreichen der gesetzten Zielmarken ein (Environmental Council 1996). Wegen dieser Unklarheiten und auch infolge bisher nicht vorliegender Konkretisierungen ist es daher nicht sinnvoll, die aus den Zielmarken resultierenden CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale zu ermitteln.

Die Kommission der EU hat sich hinsichtlich der Instrumente für eine CO<sub>2</sub>-Reduktion nicht festgelegt. Neben nicht-fiskalischen Maßnahmen, die zunächst Priorität haben sollen, wie

- Vereinbarung mit der Automobilindustrie,
- verstärkte Forschung und Entwicklung sowie ergänzend
- einer Kennzeichnungspflicht über den Kraftstoffverbrauch

werden im Falle eines absehbaren Mißerfolges folgende fiskalische Optionen für denkbar gehalten:

- gestaffelte Erwerbssteuern/Zulassungsgebühren (wie Österreich),
- Staffelung der jährlichen Kfz-Steuer nach den CO<sub>2</sub>-Emissionen,
- CO<sub>2</sub>-Bezugswerte und ein Rahmen für Steueranreize sowie
- höhere Mineralölsteuern.

Im Rahmen dieses Projektes wird eine Strategie zugrunde gelegt, die bei der Kfz-Steuer ansetzt. Die Umstellung der Kfz-Steuer auf eine ausschließlich kraftstoffverbrauchs- und damit auch CO<sub>2</sub>-abhängige Steuer soll die Herstellung, den Kauf und die Nutzung umweltschonender Fahrzeuge begünstigen. Es ist offenkundig, daß die derzeitigen - nur ge-

ringfügig nach Höhe der Schadstoffemissionen gespreizten Steuersätze - keine Anreize bieten, sich verbrauchs- und damit auch schadstoffärmere Autos zu kaufen. Wenn die gesamten Kfz-Steuererinnahmen des Staates unverändert bleiben sollen und gleichwohl Druck auf die Autofahrer ausgeübt werden soll, sich wenig CO<sub>2</sub>-emittierende Fahrzeuge zu kaufen, bietet sich die Umwandlung der jährlich zu entrichtenden Kfz-Steuer in eine einmalige Kaufsteuer an, die an der voraussichtlichen Lebensdauer des Fahrzeugs orientiert ist. Bei einem Auto mit einer 11jährigen Lebensdauer und einer heutigen Steuerbelastung von 300 DM p.a. wären dann einmalig 3 300 DM beim Kauf des Autos zu entrichten. Je nach durchschnittlichem Kraftstoffverbrauch je 100 km und damit auch je nach CO<sub>2</sub>-Emissionen könnte diese einmalige Kaufsteuer gespreizt werden. Für ein 5 l-Auto könnten z.B. 500 DM, für ein 10 l-Auto 6 500 DM festgesetzt werden. Diese Spreizung dürfte bei einer Kaufentscheidung sicherlich eine Rolle spielen. Da anzunehmen ist, daß das gesamte Steueraufkommen aufgrund der zunehmenden Präferenzierung verbrauchsärmerer Fahrzeuge dann sinken würde, könnte eine jährliche Niveauerhöhung dieser Kaufsteuer entsprechend den Mindereinnahmen vorgenommen werden. Derartige („Luxus“-)Steuern existieren bereits.

Prognos hat 1991 darauf hingewiesen, daß die Erhebung einer einmaligen Gebühr Anreize zu längeren Nutzungsdauern bieten und damit dem Ziel einer möglichst raschen Bestandsumschichtung zuwiderlaufen könnte. Außerdem müßte das Interesse der Automobilindustrie an eher kürzeren Lebensdauern der Fahrzeuge bei der Umgestaltung der Kfz-Steuer genutzt werden (Prognos 1991, S. 78). Ausgehend von einem Mittelfristziel von 5 l/100 km wurde eine exponentiell verlaufende Steuerprogression vorgeschlagen. Die Kfz-Steuer ist weiterhin jährlich zu entrichten, jedoch wird die bisherige Linearität des Steuersatzes abgeschafft. Für ein Kfz mit einem Zulassungszyklusverbrauch (l je 100 km) von 5 bis unter 6 l wären dann beispielsweise nur 27 DM und für eines mit 10 bis unter 11 l knapp 6 600 DM zu zahlen. Im Güterverkehr wird prinzipiell - allerdings an den Nutzlastkapazitäten orientiert - ähnlich vorgegangen.

Im Individualverkehr würde sich der Durchschnittsverbrauch der Pkw (in Westdeutschland) von 10,4 l (1987 je 100 km) auf 8,5 l (2005) um rund 18 % reduzieren. Bei Lkw würde im gleichen Zeitraum ein spezifischer Verbrauchsrückgang von 10 % bewirkt. Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen würden sich gegenüber der Trendentwicklung um 10 Mill. t

bzw. 6,4 % vermindern. Dieses Reduktionspotential wird von Prognos selbst als absolute und eher unwahrscheinliche Obergrenze eingestuft.

Bei einer Aktualisierung und Übertragung dieses Rechenansatzes auf Gesamtdeutschland ist u.a. folgendes zu beachten:

- Fahrleistungsrevision,
- Änderung der spezifischen Durchschnittsverbräuche von Pkw und Lkw,
- andere Wirtschafts- und damit auch Verkehrsentwicklung als seinerzeit von Prognos zugrundegelegt,
- der Zeitraum bis zum Zieljahr 2005 hat sich halbiert.

Bei Berücksichtigung dieser inzwischen veränderten Situation wären bis 2005 allenfalls noch 2 % bis 3 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen reduktionswirksam zu erschließen. Das wären im äußersten Fall 7 Mill. t. Kosten für den Bundeshaushalt fallen nicht an.

*Anwendung moderner Informationstechnik zur Vermeidung und Regulierung weiteren Verkehrsaufkommens (96)*

Diese Maßnahme zielt in erster Linie auf den Straßengüterverkehr. Durch die verstärkte Implementation von Telekommunikations (TK)-Techniken im Verkehrsbereich erhoffen sich - mit steigender Tendenz - viele einen Beitrag zur Lösung der Probleme, die insbesondere mit dem rasanten Anstieg des Straßenverkehrs verbunden sind.

In einer Zeit, in der es aus umweltpolitischen Gründen und auch wegen des enormen Flächenbedarfs immer schwieriger wird, für den Bau neuer oder den Ausbau vorhandener Infrastrukturen - insbesondere im Straßen- und Luftverkehrsbereich - eine breite gesellschaftliche Akzeptanz zu finden, erscheint der Gedanke bestechend, durch TK-Techniken Teile der Verkehrs- und Umweltbelastungen verringern zu können.

Die Möglichkeiten der Beeinflussung und Reduzierung des Straßengüterverkehrs durch TK-Techniken hängen im wesentlichen von der Verbreitung und Akzeptanz der entsprechenden Dienste ab. Kollektive Leitsysteme sind tendenziell schneller zu realisieren als an viele Einzelentscheidungen gebundene Individualkommunikationslösungen. Die Ausstattung der Fahrzeuge mit Mobilfunktechnik geschieht in den nächsten Jahren parallel zum

Einsatz des Fuhrparks. Eine grundsätzliche Durchdringung des Straßennetzes mit „Telematik“-Einrichtungen ist bis 2005 nicht zu erwarten.

Die Einsparpotentiale im Straßenverkehr sind bei vorsichtiger Schätzung bis 2005 auf etwa 3 % der Fahrleistungen zu veranschlagen.

Im übrigen ist auch darauf hinzuweisen, daß das Risiko verkehrsinduzierender Wirkungen ins Kalkül einbezogen werden muß. Praktisch wirkt eine Systemsteuerung des Straßenverkehrs mittels moderner Systeme der Datenerfassung, der Kommunikations-, Leit- und Informationstechniken zur besseren Ausnutzung der Infrastruktur wie ein Kapazitätsausbau, wie Straßenneubau. Kontraproduktive Effekte auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen - durch Verkehrsinduzierung - können nicht unbedingt ausgeschlossen werden, zumal dann nicht, wenn das Straßennetz flächendeckend mit derartigen Techniken ausgestattet ist.

Es wird hier ein Reduktionspotential von 1 Mill. t CO<sub>2</sub> angenommen. Die dafür aufzuwendenden Bundesmittel können derzeit nicht benannt werden, zumal auch die Entscheidungen, welche Systeme letztlich installiert werden, noch nicht getroffen worden sind.

#### *Besteuerung von Flugkraftstoffen (97)*

Die gewerbliche Luftfahrt ist derzeit von der Mineralölsteuer und im grenzüberschreitenden internationalen Luftverkehr auch von der Mehrwertsteuer befreit. Der Anteil der Treibstoffkosten an den Gesamtkosten von Liniengesellschaften dürfte derzeit bei höchstens 10 % liegen. Bei einem angenommenen derzeitigen Kerosinpreis von etwa 0,30 DM/l ist offensichtlich, daß eine Mineralölsteueranlastung - etwa in der Größenordnung, die heute bei DK bzw. VK gilt - von den Fluggesellschaften nicht mehr im eigenen Produktionsprozeß aufgefangen, sondern zum großen Teil auf die Tarife überwälzt werden müßte. Erhebliche Nachfragerückgänge wären zwangsläufig. Die Aufhebung der Mehrwertsteuerbefreiung im grenzüberschreitenden gewerblichen Luftverkehr könnte die Wirkungen, auch auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen, wesentlich verstärken.

In einer Arbeitsgemeinschaft unter Federführung von TÜV Rheinland und in Zusammenarbeit mit dem Wuppertal-Institut werden derzeit vom DIW Möglichkeiten untersucht, die Schadstoffemissionen des zivilen Luftverkehrs zu reduzieren. Eine wichtige Maß-

nahme dabei ist auch die Anlastung der Mineralölsteuer. Diese Studie im Auftrage des Umweltbundesamtes ist erst im Anfangsstadium der Bearbeitung. Zwischenergebnisse liegen noch nicht vor.

In Deutschland werden derzeit etwa 5 Mill. t Kerosin - das entspricht ca. 16 Mill. t CO<sub>2</sub> - getankt. Zusammen mit der Aufhebung der Mehrwertsteuerbefreiung ließen sich nennenswerte CO<sub>2</sub>-Reduktionen allerdings nur dann erzielen, wenn beide preispolitischen Maßnahmen im internationalen Kontext durchgesetzt und umgesetzt würden.

#### *Einführung einer Verkehrsauswirkungsprüfung (99)*

Dieses Prüfverfahren wäre zusätzlich zur Änderung der gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien (98) insofern ein Fortschritt und eine Verbesserung, als in einem sehr frühen Stadium verkehrsvermehrnde Entscheidungen erkannt und berücksichtigt werden können. Zweifelhaft ist nur, ob in einem sehr frühen Planungsstadium von Investitionsmaßnahmen schon verkehrsinduzierende Wirkungen erkannt und berücksichtigt werden können. Hier müßten Richtlinien, Gesetze und Verordnungen für Klarheit sorgen.

Die Verkehrsauswirkungsprüfung ist bisher nur konzeptionell angedacht. Sie ist grundsätzlich positiv zu beurteilen. Gleichwohl dürften die CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte nach einer Umsetzung nur im Zusammenhang mit anderen Maßnahmen bedeutsam sein.

#### *Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr (T 100, T 120 und T 130: BAB; T 80: sonstige Außerortsstraßen) (ZV 1)*

Eine allgemeine Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (T 100/80) läßt eine Kraftstoffeinsparung und einen reibungsloseren Verkehrsfluß erwarten. Beide Effekte sind unmittelbar CO<sub>2</sub>-reduktionswirksam. Der Lkw-Verkehr wäre überwiegend nicht davon betroffen. Die derzeit gültigen Höchstgeschwindigkeiten für Lkw liegen - mit Ausnahme der Lkw ≤ 2,8 t zulässigem Gesamtgewicht (außerorts: 100 km/h, Autobahn wie Pkw) - innerhalb des von einer solchen Regelung gesetzten Rahmens. Geschwindigkeitsmessungen der Bundesanstalt für Straßenwesen aus dem Jahr 1992 zeigen jedoch, daß mehr als die Hälfte der größeren Lkw das vorgeschriebene Tempolimit von 80 km/h

auf Autobahnen überschreitet, wenn die Verkehrsverhältnisse dies zulassen. Die mittlere Reisegeschwindigkeit auf freien Autobahnstrecken lag 1992 bei 87,3 km/h.

Die Auswirkungen einer Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf den Kraftstoffverbrauch werden daher sowohl für den Pkw-, als auch für den Lastkraftfahrzeug-Verkehr - getrennt nach Vergaser- und Diesel-Kraftstoff- berechnet. Unterstellt wird ein genereller Befolgungsgrad von 80 %, der durch verstärkte Kontrollen (und Einsicht der Verkehrsteilnehmer) erreicht werden kann. Somit ist auch sichergestellt, daß die beim Straßengüterverkehr „schlummernden“ Potentiale erschlossen werden können.

Grundlage der Berechnungen und der Ergebnisse ist die Studie über die Effizienz von Maßnahmen zur Verbrauchseinschränkung bei Mineralölversorgungsstörungen, die im Auftrag des Wirtschaftsministeriums vom DIW Anfang dieses Jahres abgeschlossen wurde (Hopf et al. 1996).

Gemäß DIW-Schätzung wird der gesamte Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr 2005 etwa 39,5 Mill. t und im Lkw-Verkehr (Lkw < 2,8 t [zulässigem Gesamtgewicht] und Lkw ≥ 2,8 t [zulässigem Gesamtgewicht]) 16,2 Mill. t (jeweils VK und DK) betragen. Durch Dämpfung der Höchstgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Verstetigung der Fahrzeugbewegungen lassen sich beim Individualverkehr 3,4 Mill. t und beim gesamten Straßengüterverkehr 0,6 Mill. t (jeweils VK und DK) einsparen, zusammen also rund 4 Mill. t Kraftstoff. Das entspräche einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von etwa 12,5 Mill. t. Bezogen auf die vom DIW für 2005 geschätzte Emissionsmenge (abgeleitet aus dem Verbrauch) entspräche das einer CO<sub>2</sub>-Reduktion des gesamten Straßenverkehrs von 7 %, bezogen auf das von Prognos geschätzte CO<sub>2</sub>-Emissionspotential des gesamten Verkehrsbereichs immerhin noch eine Abnahme von 5,6 %. Bei diesen Berechnungen wurde unterstellt, daß die Fahrleistungen konstant bleiben. Da vermutet werden kann, daß die Fahrleistungen tendenziell eher zurückgehen als steigen werden, dürfte die CO<sub>2</sub>-Reduktionsmenge eher eine vorsichtige Schätzung sein.

Eine Begrenzung der zulässigen BAB-Höchstgeschwindigkeit auf höherem Niveau (BAB: 120 km/h oder BAB: 130 km/h) führt unter sonst unveränderten Rahmenbedingungen (AOS: 80 km/h, Befolgungsgrad jeweils 80 %) zu deutlich niedrigeren CO<sub>2</sub>-Reduktionen. In der ersten Variante (BAB: 120 km/h; AOS: 80 km/h) würde die CO<sub>2</sub>-

Reduktion rund 8 Mill. t und in der zweiten Variante (BAB: 130 km/h; AOS: 80 km/h) nur noch rund 6 Mill. t betragen.

Diese Maßnahme hätte den Vorteil, daß sie - abgesehen von verstärkten Überwachungsmaßnahmen und neuen Verkehrsschildern - den Bundeshaushalt nur geringfügig belastet, sofort umsetzbar wäre und vor allem auch sofort wirken.

#### *Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten (ZV 2)*

Die Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten ist neben der Vorgabe von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten (z.B. 90 g CO<sub>2</sub>/km) der einfachste und direkteste Weg, bestimmte quantitative CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu erreichen. Sinnvollerweise können sich derartige Limits nur auf neu zugelassene Fahrzeuge beziehen.

Die Ausgestaltungsmöglichkeiten derartiger gesetzlicher/administrativer Regelungen sind vielfältig (Prognos 1991, S. 53 ff.). Beispiele:

- absolute (z.B. 0,2 l/100 km Verbrauchsreduktion p.a. je Fahrzeug) oder relative (z.B. prozentuale Verbrauchsreduktion p.a. je Fahrzeug) Verbrauchsgrenzwerte;
- Grenzwerte für jedes neu zugelassene Einzelfahrzeug (z.B. hubraumbezogen) oder für den Durchschnittsverbrauch aller von einem Hersteller in einem Jahr verkauften Neufahrzeuge (z.B. Flottenverbrauchsregelung wie in den USA);
- differenzierte Grenzwerte für VK- und DK-Kraftfahrzeuge.

Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, daß bei hubraum-, leistungs- und gewichtsstärkeren Fahrzeugen bestimmte absolute Verbrauchsminderungsvorgaben (konstruktions-) technisch einfacher zu realisieren sind als bei den kleineren Fahrzeugen. So ist es beispielsweise leichter und weniger aufwendig, den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchswert (l/100 km) eines „großen“ Fahrzeugs von 12,0 auf 11,6 als bei einem „kleineren“ Fahrzeug von 6,0 auf 5,6 abzusenken. Absolute jährliche Verbrauchsminderungsvorgaben - unabhängig von Fahrzeugtyp bzw. -größe - würde die Hersteller überwiegend kleinerer, schon heute wesentlich verbrauchsgünstigerer Fahrzeuge eindeutig benachteiligen. Absolute Verbrauchsminderungsvorgaben machen nur dann Sinn, wenn sie den - nach Fahrzeuggröße - unterschiedlichen Möglichkeiten zur Reduktion des



durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs Rechnung tragen. Es würde sich z.B. anbieten, die jährlichen Verbrauchsminderungsvorgaben nach Hubraum- oder Gewichtsgrößenklassen zu staffeln. So könnten die jährlichen Kraftstoffverbrauchs-Reduktionsvorgaben für ein Fahrzeug mit 2 l Hubraum 0,3 l, für ein Fahrzeug mit 1,5 l Hubraum 0,2 l und für ein Fahrzeug mit 1 l Hubraum 0,1 l betragen.

Bei prozentualen jährlichen Reduktionsvorgaben (z.B. 2 % p.a. für alle Fahrzeuge) würden sich Spreizungseffekte (0,2 l Reduktion p.a. für alle Fahrzeuge mit einem Ausgangswert von 10 l/100 km, 0,1 l Reduktion p.a. für alle Fahrzeuge mit einem Ausgangswert von 5 l/100 km) quasi automatisch von selbst einstellen.

Auch prozentuale Reduktionsvorgaben könnten je nach Hubraum- bzw. Größenklassen unterschiedlich gestaffelt sein. Dies würde die Hersteller durchschnittlich größerer Autos zwar möglicherweise diskriminieren, jedoch den Prozeß der CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehrsbereich erheblich beschleunigen. Vor allem vor dem Hintergrund des Trends zu immer größeren und leistungstärkeren Fahrzeugen mit für sich genommenen zwangsläufig verbrauchs- und CO<sub>2</sub>-emissionserhöhenden Wirkungen (Rieke 1996, S. 227 ff.) dürften gespreizte prozentuale Verbrauchsminderungsvorgaben empfehlenswert sein. Hohe Kosten für die Entwicklung verbrauchsärmerer Motoren bzw. Fahrzeuge, die auf die Kfz-Verkaufspreise überwälzt werden müßten, könnten zudem dem Trend zu immer größeren und schnelleren Autos entgegenwirken, wären unter dem Gesichtspunkt einer möglichst raschen CO<sub>2</sub>-Reduktion also ein zusätzlicher positiver Nebeneffekt.

Bei der Verbrennung von 1 kg oder 1 l Ottokraftstoff werden 3,12 kg CO<sub>2</sub> bzw. 2,34 kg CO<sub>2</sub> erzeugt. Die entsprechenden Werte bei Dieselmotoren betragen 3,15 kg CO<sub>2</sub> bzw. 2,63 kg CO<sub>2</sub>. Da jedoch der durchschnittliche Verbrauch (l/100 km) von Fahrzeugen mit Dieselmotoren (1996 rund 7,5 l bei den Neuzulassungen und beim Bestand) deutlich unter dem von Fahrzeugen mit Ottomotoren (1996 rund 8,6 l bzw. 9,2 l) liegt, besteht unter dem Gesichtspunkt allein der CO<sub>2</sub>-Reduktion kein erkennbarer Anlaß, deutlich unterschiedliche Grenzwerte für beide Antriebsarten vorzugeben.

Das größte Problem bei der Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten dürfte die Festlegung eines realistischen Ausgangswertes für den durchschnittlichen Verbrauch von verschiedenen Kfz-Typen sein. Die Herstellerangaben zum jeweiligen Verbrauch ihrer

Fahrzeuge sind DIN-Verbrauchswerte. Hier werden für drei Bereiche (Stadtverkehr, Konstantfahrt mit 90 km/h, Konstantfahrt mit 120 km/h) Verbrauchswerte ermittelt, die zum sogenannten DIN-Drittelmix zusammengefaßt werden und mithin den Verbrauchsvergleich verschiedener Fahrzeuge unter identischen Einsatzbedingungen erlauben. Diese DIN-Verbrauchswerte liegen allerdings erheblich unter den Testverbrauchswerten, die im täglichen Verkehr gemessen werden (Rieke 1996, S. 236 f.). Ab 1996/97 werden die DIN-Verbrauchsnormen durch neue Normverbrauchsvorschriften (EU-Richtlinie 80/1268/EWG in der Fassung 93/116/EG) ersetzt, die die Normwerte stärker den „realeren“ Testwerten annähern.

Bei der freiwilligen Zusage der deutschen Automobilindustrie zur fahrzeugseitigen Kraftstoffverbrauchsminde- rung um 25 % im Zeitraum 1990/2005 ist unklar, ob sie sich auf die DIN- oder Testverbrauchswerte (VDA 1995) der neu hergestellten bzw. verkauften Fahrzeuge der deutschen Automobilindustrie bezieht. Konkrete Ausgangsverbrauchs- und Zielverbrauchswerte wurden nicht genannt.

Der Wert und die Wirkungen freiwilliger Selbstverpflichtungen sind grundsätzlich erheblich umstritten. So weist der Sachverständigenrat für Umweltfragen darauf hin, daß das Ziel einer Kraftstoffverbrauchssenkung um 25 % in 15 Jahren, ausgehend von einem relativ hohen Durchschnittsverbrauch, ohnehin im Rahmen der zu erwartenden technischen Entwicklung liegt (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1996, S. 98). Da die ausländischen Automobilhersteller - 1994 immerhin mit einem Drittel an den Neuzulassungen in Deutschland beteiligt - derartige Zusagen nicht gemacht haben, dürfte die freiwillige Selbstverpflichtung der deutschen Automobilhersteller nur eine beschränkte Wirkung auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen haben. Berücksichtigt werden muß bei der Zusage des VDA auch, daß sie an Bedingungen - wie Einsatz von Verkehrsmanagement-, Leit- und Informationssystemen, die Beseitigung von Infrastrukturengpässen, integrierte Verkehrskonzepte, Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebe sowie steuerliche Maßnahmen (Einführung einer emissionsabhängigen Kraftfahrzeugsteuer) - geknüpft ist, deren „Nicht-Eintreten/Realsierung“ immer als Entschuldigung für das Verfehlen des Verbrauchssenkungszieles herangezogen werden kann.

Im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Verringerung des absoluten Kraftstoffverbrauchs und damit auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen bedeutsamer sind die Bemühungen der Bundesregierung, auf europäischer Ebene einen Zielwert von 120 g CO<sub>2</sub>/km als Durchschnittswert für die Neuwagenflotte des Jahres 2005 zu erreichen (Deutscher Bundestag 1996, S. 1 f.). Die europäischen Umweltminister haben sich nach wiederholtem Drängen der Bundesregierung nunmehr auf diesen Zielwert geeinigt, allerdings als letzte Frist hierfür das Jahr 2010 gesetzt (Kommission der EU o.J.).

120 g CO<sub>2</sub>/km entsprechen bei Benzinmotoren einem Verbrauch von etwa 5 l/100 km, bei Dieselmotoren einem Verbrauch von etwa 4,5 l/100 km. Die Umweltminister wollen diese Zielvorgaben zunächst über freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie und verstärkte Forschungsanstrengungen erreichen und nur dann Druckmittel - Anhebung des Mindeststeuersatzes für Mineralöl und andere fiskalische Maßnahmen - anwenden, wenn das Ziel über „Freiwilligkeit“ nicht erreicht wird (vgl. auch „CO<sub>2</sub>-Emissionen bei neuen Kfz“ - 24).

Es ist aus heutiger Sicht kaum vorstellbar, daß diese europäischen Absenkungsziele (rund 5 l VK/100 km bzw. 4,5 l DK/100 km) ohne Druckmittel erreicht werden können. Erschwerend kommt hinzu, daß sich diese durchschnittlichen Verbrauchswerte auf das neue europäische Verbrauchsmeßverfahren beziehen, das ab dem 1.1.97 in der EU verbindlich ist. Es stellt eine deutliche Verschärfung gegenüber dem heutigen Drittemix dar.

Die deutsche Umweltministerin hat selbst darauf hingewiesen, daß die beschlossenen europäischen Durchschnittswerte nur eingehalten werden können, wenn es gelingt, eine große Zahl von 3-Liter-Autos (ca. 70 g CO<sub>2</sub>/km) auf den Markt zu bringen, so daß die Modellvielfalt erhalten bleibt und auch große Autos mit Verbrauchswerten von 8 bis 9 l/100 km (ca. 200 g CO<sub>2</sub>/km) nach wie vor gekauft und gefahren werden können (BMU 1996).

Das „durchschnittliche“ 5-Liter-Auto würde etwa 120 g CO<sub>2</sub> je km emittieren. In der Praxis wird dieser Wert bisher von keinem auf dem Markt befindlichen Auto unterschritten. In Deutschland liegt das „Durchschnittsauto“ derzeit bei rund 200 g CO<sub>2</sub> je km (VK und DK). Selbst wenn weniger als 120 g CO<sub>2</sub>/km emittierende Autos demnächst auf den Markt kommen, erscheint es angesichts der nur allmählichen Bestandsumschichtung völ-

lig unrealistisch, auf freiwilliger Basis die Zielmarke von durchschnittlich 120 g CO<sub>2</sub>/km erreichen zu können.

Im Rahmen dieser Studie wird deshalb vorgeschlagen, gesetzliche Kraftstoffverbrauchsgrenzwerte für alle - auch für ausländische Pkw, um Wettbewerbsverzerrungen auszuschließen - neu zugelassenen Pkw einzuführen. Für die konkreten Berechnungen wird pragmatisch unterstellt, daß alle in Deutschland neu zugelassenen Pkw ab 1997 jährlich einen um 5 % verminderten Durchschnittsverbrauch (l/100 km bei VK und DK) aufweisen müssen, jeweils bezogen auf Verbrauchswerte, die im Durchschnitt realistische Fahrzyklen (Testverbrauchswerte) widerspiegeln. Diese Minderungsraten gelten gleichermaßen für VK- und DK-Fahrzeuge. Die für 2005 ermittelten durchschnittlichen Verbrauchsabsenkungen für den Pkw-Bestand (für VK-Fahrzeuge von 9,2 l auf 7,8 l/100 km und für DK-Fahrzeuge von 7,5 l auf 6,4 l/100 km) sowie die ermittelten CO<sub>2</sub>-Minderungen gelten unter folgenden Voraussetzungen:

- Durchschnittsalter der Fahrzeuge bei der Löschung 11 Jahre,
- gleichbleibende Pkw-Bestandsentwicklung,
- konstante Struktur des Pkw-Bestandes nach Hubraumklassen,
- gleichbleibendes Verhältnis von VK- und DK-Fahrzeugen sowie
- unveränderte Fahrleistungen.

Auch wenn diese Annahmen nur eingeschränkt realistisch sein dürften, so kann zumindest die ungefähre Größenordnung des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentials eingegrenzt werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs würden sich um rund 11,3 Mill. t CO<sub>2</sub> verringern. Das entspräche immerhin rund 5 % der von Prognos für das Jahr 2005 ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge des Verkehrssektors.

Aufgrund verstärkt notwendiger Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen dürften Kosten für den Bundeshaushalt entstehen, allerdings nicht in einem nennenswerten Ausmaß.

#### *Anhebung des Kraftstoffpreises (2005: 3 DM/l VK und DK) - ZV 3*

Die Überlegungen, die schon bei den Maßnahmen „Erhöhung der Mineralölsteuer“ und „Anhebung der Mindestsätze bei der Mineralölsteuer“ zugrunde gelegt wurden, gelten

hier sinngemäß. Die derzeitigen Kraftstoffpreise für VK und DK werden nunmehr allerdings annähernd verdoppelt. Ziel ist es, Anreizmechanismen für Energieeinsparungen im Personen- und Güterverkehr zu schaffen. Diese können über verschiedene Reaktionsmöglichkeiten erreicht werden:

- geringere Motorisierung (Personenverkehr),
- höhere Besetzung (Personenverkehr) und höhere Auslastung (Güterverkehr) der Fahrzeuge,
- Veränderung der Verkehrsmittelwahl (Personen- und Güterverkehr),
- kürzere Fahrtziele (Personenverkehr) und kürzere Beschaffungs- und Absatzwege und Vermeidung von Leerfahrten (Güterverkehr),
- Herstellung, Anschaffung und Nutzung verbrauchseffizienterer sowie sparsamerer Fahrzeuge (Personen- und Güterverkehr),
- Verkehrsvermeidung (Personen- und Güterverkehr) sowie
- generell ein energieverbrauchsbewußteres Verhalten (Personen- und Güterverkehr).

Es wird unterstellt, daß die Anhebung der Kraftstoffpreise auf 3 DM/l VK und DK im Jahre 2005 schrittweise ab 1997 erfolgt. Die durchschnittliche jährliche Kraftstoffpreiserhöhung von 0,17 DM/l VK und 0,21 DM/l DK kann als vergleichsweise moderat angesehen werden. Für die verkehrlichen Wirkungen ist es relativ bedeutungslos, ob diese Verteuerungen des Kraftstoffes ihre Ursachen in einer Anhebung des Mineralölsteuersatzes (z.B. Anhebung des EU-Mindestsatzes für die Mineralölsteuer einschließlich Mehrwertsteuer) haben oder ob sie aus der aktuell intensiv diskutierten Einführung einer CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer resultieren.

Es wurden in der jüngeren Vergangenheit diverse Studien (Ratzenberger et al. 1995; Hillebrand et al. 1996; Voigt et al. 1996) durchgeführt, die mit jeweils unterschiedlichen Zielsetzungen und thematischen Untersuchungsschwerpunkten, unterschiedlichen Bezugsjahren und -zeiträumen sowie unterschiedlichen Maßnahmen/-bündeln und Maßnahmenausprägungen/-intensitäten CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategien untersucht haben. In allen Untersuchungen sind spürbare Kraftstoffpreiserhöhungen eine relevante Maßnahme. Auch in der schon erwähnten Prognos-Studie (Prognos 1991, S. 63 ff.) werden die Wirkungen eines erhöhten Mineralölsteuersatzes auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht.

Die hier ab 1997 unterstellte Verteuerung von Benzin und Diesel ist mit einer nominellen Preiserhöhung von rund 8 % p.a. bei VK und 11 % p.a. bei DK gleichzusetzen. In realen Preisen (Preissteigerungsrate rund 2,5 % p.a.) beträgt die Verteuerung etwa 5,4 % p.a. (VK) bzw. 8,5 % p.a. (DK). Für die verkehrlichen Wirkungen wichtig ist die Annahme, daß diese Anhebung in allen EU-Ländern gleichermaßen erfolgt, um auch die grenzüberschreitenden Verkehrsströme zu erfassen und „Tanktourismus“ zu vermeiden. Ferner bedeutsam für die Reduktionseffekte ist die Annahme, in Analogie zur Ifo-Studie (Ratzenberger et al. 1995), daß zur Kompensation der erhöhten Kraftstoffkostenbelastungen (Steuereinnahmen beim Bund) Einkommenssteuersenkungen vorgenommen werden.

Alle eingangs erwähnten Reaktionsmöglichkeiten

- geringere Motorisierung,
- Fahrleistungsminderung (durch höhere Besetzung/Auslastung, kürzere Reiseziele/Transportwege, Vermeidung von Fahrten/Leerfahrten),
- Änderung des Modal Split,
- Herstellung, Kauf und Nutzung energieeffizienterer Fahrzeuge sowie
- allgemein energieverbrauchsbewußteres Verhalten

dürften zu einer insgesamt deutlichen Kraftstoffverbrauchsminderung bzw. CO<sub>2</sub>-Reduktion führen. Im Güterverkehr dürften die prozentualen Minderungseffekte erheblich unter denen im Personenverkehr liegen. Die Lkw-Unternehmer können den Fuhrparkbetrieb generell effizienter gestalten (wie höhere Auslastung, geringerer Leerfahrtenanteil, bessere Logistik) sowie die erhöhten Transportkosten z.T. auf die Verlader überwälzen. Diese wiederum können ihre Produktions-, Beschaffungs- und Absatzlogistik ebenfalls rationalisieren, andere Verkehrsmittel wählen oder die erhöhten Transportkosten auf ihre Kunden überwälzen. Im Straßengüterverkehr sind die Reaktionen - mangels ausreichender Alternativen - noch sehr viel unelastischer als im Fernverkehr einzuschätzen.

Die in den diversen Studien ermittelten CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale aufgrund einer Erhöhung des Kraftstoffpreises (Anhebung der Mineralölsteuer, Einführung einer CO<sub>2</sub>-

/Energiesteuer) variieren zwangsläufig jeweils in Abhängigkeit von den unterstellten Maßnahmenintensitäten und -ausprägungen sowie Wirkungszeiträumen sehr stark. Die hier unterstellte Verteuerung und auch der Wirkungszeitraum ähnelt stark den Annahmen der Ifo-Studie (2. Ausprägung). In Abänderung der dort getroffenen Annahmen wird der DK-Preis jedoch wesentlich stärker angehoben, um zu verhindern, daß die CO<sub>2</sub>-Minderungen zu einem nennenswerten Teil lediglich aus einer Bestandsumschichtung von VK- zu DK-Fahrzeugen resultieren.

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Verkehrsverlagerungen zu anderen Verkehrsträgern (ÖSPV, Bahn, Binnenschifffahrt) mit dort dann etwas höheren Energieverbrauchs-werten werden im Personenverkehr 12 % und im Güterverkehr 5 % CO<sub>2</sub>-Reduktion erwartet. Das entspricht einer CO<sub>2</sub>-Verminderung gegenüber der Referenzentwicklung (Prognos 1995) von etwa 23 Mill. t.

#### *Fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren (ZV 4)*

Straßenbenutzungsgebühren (Road Pricing) erlauben - anders als die Mineralöl-, CO<sub>2</sub>-, Energie-, Kfz-Steuer oder der Kraftstoffpreis - eine unmittelbare Lenkung der Verkehrsnachfrage über den dafür zu entrichtenden Preis. Da sie direkt an den gefahrenen Kilometern, Streckenabschnitten, Wegelängen und/oder Fahrtzielen anknüpfen, kann über eine entsprechende Abgabenhöhe der motorisierte Straßenverkehr so beeinflusst werden, daß sich die jeweils gewünschten „Ziel-Verkehrsmengen“ einstellen.

Ursprünglich war es die Idee bei der Erhebung von Straßenbenutzungsgebühren, über räumlich und zeitlich - entsprechend der Belastungssituation - differenzierte Preise für die Inanspruchnahme von Straßeninfrastruktur den Straßenverkehr so zu steuern, daß die insgesamt zur Verfügung stehenden Straßenkapazitäten besser und gleichmäßiger ausgelastet und somit Staus vermieden werden können. Die bisher realisierten Gebührensysteme (Autobahngebühren, Strecken-, Kordon-, Zonentarifierungen) haben darüber hinaus die Funktion, den Bau der Verkehrsinfrastruktur aus den Gebühreneinnahmen zu finanzieren (Rothengatter 1994). Die aktuelle verkehrspolitische Diskussion, Straßenbenutzungsgebühren als Äquivalent für die von den Autofahrern verursachten externen Schäden (Staukosten, Unfallfolge- und Umweltkosten) einzuführen, resultiert aus dem Grundgedanken, über eine Abgabenerhebung die Sensibilität der Autofahrer für die von

ihnen verursachten negativen Folgewirkungen zu erhöhen und somit ein sozialverträglicheres Verkehrsverhalten zu fördern.

Je nach Zielrichtung einer Straßenbenutzungsgebühr (Stauvermeidung, gleichmäßigere Kapazitätsauslastung, Finanzierungsfunktion, Verminderung der Umweltbelastungen) variieren die Ausgestaltungsmöglichkeiten. Unter dem Gesichtspunkt der CO<sub>2</sub>-Reduktion empfiehlt es sich, für sämtliche Straßenkategorien diese Gebühr zu erheben. Zeitliche, gebiets- und/oder streckenbezogene Gebühren können zwecks Verminderung lokaler Umweltbelastungen durchaus sinnvoll sein, implizieren aber die Gefahr von Ausweich- und Umgehungsreaktionen mit möglicherweise kontraproduktiven Auswirkungen auf die Fahrleistungen, den Kraftstoffverbrauch und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Nach jüngsten Aussagen des Verkehrsministeriums werden Straßenbenutzungsgebühren für Pkw, die vorerst ohnehin nur für das Autobahnnetz diskutiert und konzipiert waren, aus technischen und datenschutzrechtlichen Gründen in Deutschland in absehbarer Zeit nicht eingeführt. Lediglich für schwere Lkw soll ab dem Jahr 2000 die bestehende Autobahngebühr („Vignette“, s. Maßnahme 93) auf 5 000 DM (für Lkw ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht mit 4 u.m. Achsen) verdoppelt und gleichzeitig eine streckenbezogene „Autobahn-Maut“, deren Höhe allerdings noch nicht feststeht, eingeführt werden. Unter dem Aspekt der CO<sub>2</sub>-Reduktion sind beide Abgaben negativ zu beurteilen. Die „Vignette“ ist eine zeitraumbezogene Festgebühr und bietet Anreize, viel zu fahren, um so die Kosten je gefahrenen Kilometer, die selbst bei der angekündigten Verdoppelung bei einer Jahresfahrleistung von 100 000 km den Streckenkilometer nur mit 0,05 DM belasten, zu senken. Die streckenbezogene „Autobahn-Maut“ induziert möglicherweise Verkehrsverlagerungen auf das nachgeordnete Straßennetz mit ebenfalls - für die CO<sub>2</sub>-Emissionen - kontraproduktiven Wirkungen. Beide Gebühren werden deshalb im folgenden nicht betrachtet.

Unabhängig von den Möglichkeiten der technischen Realisierbarkeit, der politischen Durchsetzbarkeit (auch auf EU-Ebene) und der Datenschutzproblematik werden im folgenden die Wirkungen einer allgemeinen Straßenbenutzungsgebühr, als einem gesamtwirtschaftlich sehr effizienten Instrument der Verkehrslenkung, auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht.



In Analogie zu bereits vorliegenden Untersuchungen (Prognos 1991 und Ifo 1995) wird angenommen, daß eine kilometerbezogene Gebühr für alle Straßenkategorien zu entrichten ist. Ifo und Prognos haben sich bei der Festlegung der Gebühr an den variablen Kosten der Fahrzeugnutzung, also im wesentlichen an den Kraftstoffkosten/km, orientiert. Diese belaufen sich heute für einen Durchschnitts-Pkw auf etwa 0,14 DM/km (VK) bzw. 0,09 DM/km (DK). Die Einführung einer Straßenbenutzungsgebühr von 0,10 DM/km würde die Kilometer-Kosten auf 0,24 DM/km (VK) bzw. 0,19 DM/km (DK) erhöhen. Umgelegt auf den Tankstellenabgabepreis würde diese Abgabe einen hypothetischen Kraftstoffpreis von etwa 2,60/l VK bzw. 2,45 DM/l DK entsprechen. Dies wäre einem Anstieg der Vollkosten der Pkw-Nutzung (derzeit rund 0,65 DM/km) um etwa 15 % (im Durchschnitt der VK-Fahrzeuge) gleichzusetzen und mithin eine fühlbare Verteuerung.

Eine Lkw-Gebühr in gleicher Höhe (0,10 DM/km) würde demgegenüber die Gesamtkosten der Lkw-Nutzung nur marginal erhöhen. Bei angenommenen Gesamtkosten eines Lkw (Abschreibungen, Personal, Kfz-Steuer, Vignette, Kraftstoffkosten und Sonstiges) von 200 000 DM p.a. und angenommenen Jahresfahrleistungen von 50 000 km würde die zusätzliche Belastung auf lediglich 2,5 % zu veranschlagen sein. Die CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekte wären marginal. Für Lkw wird deshalb eine Durchschnittsabgabe - in Abhängigkeit von der Größenklasse - von 0,20 DM/km angenommen.

Die verkehrswirtschaftlichen Wirkungen eines derartigen Road Pricing-Systems (für alle Straßenkategorien) sind ähnlich wie bei der zuvor diskutierten Kraftstoffpreisanhebung - in allerdings unterschiedlicher Intensität - einzuschätzen:

- geringere Motorisierung,
- erhöhte Besetzungs- und Auslastungsgrade,
- Verringerung der Reise- und Fahrtweiten,
- Routen-/Streckenoptimierung,
- Änderung des Modal Split sowie
- Vermeidung von Fahrten.

Angelehnt an die Untersuchungen von Prognos und Ifo und die dort unterstellten Preiselastizitäten dürfte die Straßenbenutzungsgebühr im Jahre 2005 zu einer CO<sub>2</sub>-Vermin-

derung von etwa 15 Mill. t führen. Der Güterverkehr ist trotz gegenüber dem Pkw-Verkehr verdoppelter Straßenbenutzungsgebühr daran nur marginal (1 Mill. t) beteiligt.

#### *Allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz (ZV 5)*

Diese Maßnahme zielt ausschließlich auf das Verhalten der Fahrer von Pkw und Lkw. Die Autofahrer sollen durch obligatorische Verkehrserziehungs- und Schulungsmaßnahmen - z.B. während der Fahrschul Ausbildung oder durch Nachschulung - auch in einer kraftstoffsparenden Fahrweise ausgebildet werden.

In Test- und Feldversuchen von Automobilherstellern, Verbänden und Fachzeitschriften wurde nachgewiesen, daß allein durch eine „sparsame“ Fahrweise unter sonst identischen Bedingungen - gleiches Fahrzeug, gleiche Fahrtstrecke, gleiche Reise-/Transportzeit - der Kraftstoffverbrauch (l/100 km) um bis zu 20/40 % gesenkt werden kann.

Eine energiesparende „intelligente“ Fahrweise kann durch viele individuelle Verhaltensweisen im Straßenverkehr erreicht werden (Süddeutsche Zeitung 1996):

- Motor warmfahren, nicht warmlaufen lassen,
- vorausschauendes Fahren,
- Motorabschaltung bei längeren Stops,
- schnellstmögliche Ganghochschaltung,
- gleichmäßiges verstetigtes Fahren,
- optimale Nutzung der Bewegungsenergie des Fahrzeugs (Verringerung der Bremsvorgänge),
- "Entmüllung" des Kofferraums (Reifen, Schneeketten u.a.m.) zwecks Gewichtsreduzierung (100 kg Gepäck bewirken einen Mehrverbrauch von durchschnittlich 1 l/100 km),
- Abbau mitgeführter Dachaufbauten (Gepäckträger, Skiboxen, Surfbretter), die nicht benötigt werden (Dachgepäck erhöht den Luftwiderstandsbeiwert und führt bei 120 km/h zu einem Mehrverbrauch von bis zu 2 l/100 km) sowie
- richtige Reifen(druck)wahl (Verringerung des Rollwiderstandes).

Eine energiesparende Fahrweise hängt natürlich auch von der Verkehrsdichte ab. Bei hohem Verkehrsaufkommen kann eine extrem kraftstoffsparende Fahrweise die Leistungsfähigkeit der Strecken reduzieren und Staus verursachen. Aber auch diese Anpassung an

das jeweilige Verkehrsaufkommen kann trainiert werden. Voraussetzung für „intelligentes“ Fahren ist insbesondere in den Städten auch eine „intelligente“ Verkehrs- und Straßenführung, die heute vielfach noch nicht gegeben ist.

Prognos (1991, S. 243) hat das Potential energiesparender Fahrweise auf allen Straßenkategorien auf rund 10 % geschätzt. Daraus resultierte eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gesamtverkehrs von 7,4 % (bezogen auf 2005, Trend). Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Verbrauchsabsenkungen (l/100 km) seit 1990 und auch in Anbetracht der (bis 2005) relativ kurzen Umsetzungszeitspanne dürfte das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential dieser Maßnahme aus heutiger Sicht bei etwa 5 % (11 Mill. t) liegen.

#### ***Fazit: Wirkungen der vorgesehenen zusätzlichen Maßnahmen***

Die zuvor behandelten Maßnahmen/Maßnahmenbündel stellen jeweils unterschiedliche Optionen für einen für einen Weg in Richtung auf eine CO<sub>2</sub>-Reduktion des Verkehrssektors dar. Tabelle 26 faßt die einzelnen Maßnahmen mit ihrer Kurz kennzeichnung und Reduktionswirkung zusammen.

Die ermittelten CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale sind jeweils auf das Referenz-Szenario bezogen. Es macht unabhängig von den methodischen Problemen keinen Sinn, die Einzelmaßnahmen zu einem Paket zu bündeln und die jeweiligen Reduktionsmengen einfach zu addieren.

Eine aus den diskutierten Einzelmaßnahmen zusammengesetzte CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategie könnte folgende relevante Komponenten beinhalten:

- Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer (Kraftstoffpreis 2 DM/l VK und DK),
- CO<sub>2</sub>-Emissionen bei neuen Kfz (Umstellung der Kfz-Steuer),
- Besteuerung von Flugkraftstoffen (Mineralölsteueranlastung) und Aufhebung der Mehrwertsteuerbefreiung im grenzüberschreitenden Luftverkehr,
- Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr (BAB: 120 km/h; AOS: 80 km/h; IO: unverändert),

- fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren (Individualverkehr: -,10 DM/km, Straßengüterverkehr: -,20 DM/km) sowie
- allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz.

Tabelle 26:

**Von der Bundesregierung vorgesehene sowie in Betracht zu ziehende zusätzliche Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehr**

JMA Nr.	Maßnahme	Wirkungsbereich	Beginn der Wirksamkeit	Wirksamkeit im Zeitablauf	Wirkung der Maßnahme <sup>1</sup> in Mrd. t CO <sub>2</sub>		Wirkung gegenüber Referenzfall <sup>2</sup> in Mrd. t CO <sub>2</sub>		Bundesmittel in Mrd. DM 2005
					2000	2005	2000	2005	
Von der Bundesregierung erwogene weitere Maßnahmen									
91	Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer	Fahrleistungsreduktion im Personen- und Güterverkehr; Verkehrsverlagerungen; energieeffizientere Fahrzeuge und Fahrweisen	sofort	abnehmend	3,0	5,0	3,0	5,0	Mehreinnahmen
92	Emissionsbezogene Kfz-Steuer (2. Stufe)	Nicht CO <sub>2</sub> -reduktionswirksam	-	-	-	-	-	-	-
94	CO <sub>2</sub> -Emissionen bei neuen Kfz	Anreize für die Herstellung, den Kauf und die Nutzung energieeffizienterer Fahrzeuge	sofort	steigend	3,0	7,0	3,0	7,0	Mehreinnahmen
96	Anwendung moderner Informationstechnik zur Vermeidung und Regulierung weiteren Verkehrsaufkommens (Telematik)	Verkehrsverflüssigung; Vermeidung von Umwegfahrten	sofort	steigend	0,2	1,0	-	-	noch nicht bekannt
97	Besteuerung von Flugkraftstoffen	Nachfragerückgang; bessere Auslastung des Fluggerätes	sofort nach Anlaufzeit	deutliche Reduktion, derzeit noch keine Aussagen möglich					Einnahmen
98	Einführung einer Verkehrsvermeidungsprüfung	Verkehrsvermeidung	sofort nach Umsetzung	gleichbleibend gering	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Vorgeschlagene weitere Maßnahmen und Maßnahmenbündel									
ZV 1	Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf Außerortsstraßen (AOS): 80 km/h, alternativ kombiniert mit Höchstgeschwindigkeiten auf Bundesautobahnen (BAB) von 100 km/h 120 km/h 130 km/h	Senkung der Geschwindigkeiten auf BAB und AOS; Verstärkung des Verkehrsflusses; Senkung der durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchsrate	sofort	gleichbleibend	10,0 5,4 4,8	12,5 8,0 6,0	10,0 6,4 4,5	12,5 8,0 6,0	gering
ZV 2	Kraftstoffverbrauchs-grenzwerte (Minderung um jeweils 5 % p.a.)	Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs	sofort	zunehmend	3,5	11,3	3,5	11,3	gering
ZV 3	Anhebung des Kraftstoffpreises (VKDK: 3 DM/l)	Fahrleistungsminimierung; Verkehrsverlagerung; energieeffiziente Fahrzeuge; energieeffizienteres Verhalten	sofort	zunehmend	7,0	23,0	7,0	23,0	Kompensation
ZV 4	Fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren (Road Pricing)	Fahrleistungsreduktion im Personen- und Güterverkehr; Verkehrsvermeidung	sofort	steigend	5,0	ca. 15	5,0	15,0	Kompensation
ZV 5	Allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz	Verstärkung der Fahrgeschwindigkeit; beschleunigungssärmere Fahrweisen; Absenkung der Durchschnittsgeschwindigkeit	sofort	steigend	3,0	ca. 11	3,0	ca. 11	gering
	Summe "weitere" Maßnahmen (ohne ZV 6 und ZV 7)	Verkehrsverlagerung; Fahrleistungsreduktion; bessere Auslastung der Fahrzeuge; kleinere und verbrauchs-günstigere Fahrzeuge; energieeffizientes Verhalten; bessere Fahrzeugtechnik	sofort	steigend	8 bis 10	35 bis 45	8 bis 10	35 bis 45	nicht
ZV 6	Maßnahmenbündel Personenverkehr	Energieeffizientere Technik; Fahrleistungsminimierung im MIV; Verkehrsverlagerung; energieeffizientes Verhalten; Infizierung von verkehrs-vermeidenden Siedlungsstrukturen	sofort	steigend	5,0	ca. 25	5,0	ca. 25	nicht quantifizierbar
ZV 7	Maßnahmenbündel Güterverkehr	wie oben (ZV 6)	sofort	steigend	1,0	ca. 5	1,0	ca. 5	nicht quantifizierbar

<sup>1</sup> Jeweils bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen 2005 im "Ohne-Maßnahmen"-Fall.

<sup>2</sup> Jeweils bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsprognose des Verkehrssektors für 2005 von Prognos.

<sup>1</sup> Jeweils bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen 2005 im "Ohne-Maßnahmen"-Fall.

<sup>2</sup> Jeweils bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsprognose des Verkehrssektors für 2005 von Prognos.

Angesichts der zeitlichen und inhaltlichen Probleme bei der politischen Durchsetzung auch nur einer Maßnahme im nationalen Bereich bzw. auf europäischer Ebene muß eine derartige Gesamtstrategie, die zwecks Erreichung nennenswerter CO<sub>2</sub>-Reduktionen im Jahre 2005 unverzüglich beschlossen und umgesetzt werden müßte, als unrealistisch eingeschätzt werden. Sie hat rein hypothetischen Charakter und soll lediglich das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential einer von nationalen und internationalen ökonomischen und gesellschaftlichen Zwängen und Rücksichtnahmen befreiten Politik aufzeigen.

Gegenüber dem Referenzfall (2005) würden sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 40 Mill. t verringern. Dies wäre eine Stabilisierung auf dem Niveau von 1990. Diese „Utopie-Strategie“-Annahme für die nicht ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen des Luftverkehrs - rund 5 Mill. t - verdeutlicht, daß es ohne einen fundamentalen Wandel in der Politik im Verkehrssektor zwangsläufig zu einem weiteren Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen wird.

Im folgenden werden die CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale von realistischeren Strategien skizziert, die sich größtenteils auf bereits vorliegende Studien stützen.

#### *Maßnahmenbündel im Personenverkehr/Güterverkehr (ZV 6 und ZV 7)*

Einmal vorausgesetzt, daß die Gesellschaft die hohen Schadenswirkungen und Gefahren aus dem Verkehrsbereich als solche erkennt und damit auch die Notwendigkeit ihrer Verringerung einsieht, so wird die Akzeptanz der eingesetzten Maßnahmen (und damit zugleich ihre Wirksamkeit) in starkem Maße davon abhängen, daß sie die gesamtwirtschaftliche Entwicklung möglichst wenig beeinträchtigen und sozialpolitisch ausgewogen sind. Die alleinige Belastung bzw. Behinderung von Pkw und Lkw, als den bedeutsamsten CO<sub>2</sub>-Emittentengruppen, ohne die gleichzeitige nennenswerte Verbesserung alternativer Verkehrsangebote würde als schikanös empfunden werden und zugleich zu erheblichen Störungen im Wirtschafts- und Lebensablauf führen.

Der Pkw hat für viele Menschen den Charakter eines Gebrauchsgegenstandes angenommen. Überall dort, wo öffentliche Verkehrsmittel nicht zur Verfügung stehen, die Wege-länge, die Witterungsverhältnisse und die persönliche Situation (alt, krank) einen Fußweg oder die Fahrradbenutzung ausschließen, ist das Auto sogar unverzichtbar geworden.

Dies gilt insbesondere für eine straff arbeitsteilig organisierte Gesellschaft wie die deutsche, in der das Erreichen vieler Zielorte für die Alltagsaktivitäten (wie Beruf, Einkauf, Ausbildung, Freizeit) häufig mit der Überwindung langer Distanzen verbunden ist. Die Lebensgestaltung großer Teile der Bevölkerung ist auf die Verfügbarkeit eines Autos ausgerichtet. Wegen dieser Gegebenheiten sowie der Abhängigkeit vieler Beschäftigter von der Automobilindustrie und ihren Zulieferindustrien schließen sich direkte restriktive Eingriffe in den Pkw-Besitz derzeit und wohl auch in absehbarer Zukunft aus.

Ebenso ist die Bedeutung des Lkw einzuschätzen. Die Produktion und die Versorgung großer Teile der Bevölkerung würden ohne den Lkw zusammenbrechen. Aus diesem Grunde würden drastische „ad hoc“-Maßnahmen, z.B. eine kurzfristig angesetzte kräftige Verteuerung des Straßengüterverkehrs, zu erheblichen Friktionen im Wirtschaftsleben führen.

Eine integrierte Verkehrs- und Umweltpolitik läßt sich am ehesten durch eine ausgewogene Mischung vielfältiger Einzelmaßnahmen umsetzen. Wichtig ist ein verkehrs- und umweltpolitisches Gesamtkonzept, in dem sich einzelne Maßnahmen nicht kontraproduktiv zueinander auswirken.

Das DIW war bereits mehrfach an der Definition und Ausformulierung derartiger Gesamtstrategien zur Verminderung der negativen Folgewirkungen des Verkehrs beteiligt. Hervorzuheben sind hier die - allerdings nicht CO<sub>2</sub>-bezogenen - Arbeiten für den Gesamtverkehrsplan Nordrhein-Westfalen (DIW et al. 1990), die Arbeiten für die Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages (Hopf et al. 1990) (2005 Reduktion zu 2005 Trend: -29 % CO<sub>2</sub>), die Untersuchung über den Güterfernverkehr für das Umweltbundesamt (DIW et al. 1994) (2010 Reduktion zu 2010 Trend: -19 % CO<sub>2</sub> im Güterverkehr) sowie die Untersuchungen für die Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages (Enquête-Kommission 1994) (2005 Reduktion zu 2005 Trend: -40 % CO<sub>2</sub>). Auch Prognos hat in seiner Maßnahmenstudie zur Reduktion der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Prognos 1991) darauf hingewiesen, daß erst die sinnvolle Zusammenstellung von Maßnahmenbündeln die tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionsspielräume aufzeigen kann und deshalb die untersuchten Einzelmaßnahmen abschließend in Maßnahmen-Szenarien gebündelt

(Szenario „Anreize“: 2005 Reduktion zu 2005 Trend: -20 % CO<sub>2</sub>; Szenario „Regeln“: 2005 Reduktion zu 2005 Trend: -46 % CO<sub>2</sub>).

In allen genannten Untersuchungen läßt sich das Spektrum der Maßnahmen diversen Politikbereichen zuordnen. Es sind dies u.a.:

- Ordnungspolitik,
- Preispolitik (Finanzpolitik),
- Investitionspolitik (Infrastrukturpolitik),
- Flächennutzungspolitik.

Zum Bereich *Ordnungspolitik* gehören Maßnahmen wie allgemeine Marktzugangsvorschriften (Betriebs-/Fahrerlaubnis für Lkw/Pkw entsprechend der Einhaltung vorgegebener Umweltstandards), Geschwindigkeitsbegrenzungen, Sozialvorschriften (Lenk-, Ruhezeiten) im Lkw-Verkehr sowie zeitliche und/oder örtliche Fahrverbote.

Zu den *preispolitischen Maßnahmen* zählen u.a. eine zusätzliche Erhöhung der Mineralölsteuer, eine Neugestaltung der Kfz-Steuer (Bemessungsgrundlage: Schadstoffemissionen bzw. Energieverbrauch), die Einführung von Straßenbenutzungsgebühren sowie Parkraumbewirtschaftungsmaßnahmen.

Die *Investitionspolitik* umfaßt vor allem solche Maßnahmen, die die Netze der umweltfreundlichen Verkehrsträger sowie die Umschlageneinrichtungen (einschließlich Güterverkehrszentren) für kombinierte Verkehre ausweiten bzw. verbessern.

Über die *Flächennutzungspolitik* kann durch eine gezielte Verteilung der Aktivitätsorte im Raum (Siedlungsstruktur, Standort- und Gewerbeansiedlungspolitik) erheblicher Einfluß auf die Entfernungsstruktur und damit auch auf Verkehrs- und Fahrleistungen genommen werden. Die Wirkungsintensitäten einer veränderten Flächennutzungspolitik dürften kurzfristig gering sein, längerfristig jedoch erheblich an Bedeutung gewinnen.

Sinnvoll ergänzt um organisatorische Maßnahmen (wie Verkehrsleitsysteme, Stauregelung), eine erweiterte Öffentlichkeitsarbeit (Werbekampagnen für umweltverträgliches Verhalten und für die Benutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel), eine gezielte Technologiepolitik (Steigerung der Energieeffizienz der Verkehrs- und Betriebssysteme) sowie eine umfassende Schulung in umweltfreundlicher Fahrzeugtechnik können derartig

umfassend zusammengesetzte Maßnahmenbündel beträchtliche CO<sub>2</sub>-Minderungen bewirken.

Ausgehend von dem Grundgedanken, daß die externen Kosten der Umweltnutzung im Verkehrssektor internalisiert werden müssen, setzen alle bisher vorgelegten Maßnahmenstrategien beim Preis für Verkehrs-/Transportleistungen an. Da bei ausschließlicher Einsatz der pretialen Instrumente jedoch eine sehr hohe Dosierung gewählt werden müßte, um nennenswerte CO<sub>2</sub>-Minderungen zu erreichen, weisen alle Studien auf die Notwendigkeit ergänzender und flankierender Maßnahmen aus den anderen genannten Bereichen hin.

Angesichts der kurzen Umsetzungszeit ließe sich durch ein solches Strategieprogramm bis 2005 zwar „nur“ ein Reduktionspotential von rund 30 Mill. t CO<sub>2</sub> (-13 % gegenüber Prognos „Referenzfall“ 2005) erschließen, längerfristig wären die CO<sub>2</sub>-Minderungen jedoch beachtlich. Eine solche Strategie hätte durch die Vielzahl der aufeinander abgestimmten Einzelmaßnahmen den Vorteil, daß sie sich eher durchsetzen ließe. Die Einzelmaßnahmen in dieser Strategie sind weniger stark ausgeprägt und erstrecken sich auch vorwiegend auf die nationale Ebene, so daß ein langwieriger Einigungsprozeß auf europäischer Ebene entfällt bzw. weniger schwierig ist. Allerdings sind in einem solchen Konzept auch die Bundesländer und die Kommunen (z.B. bei der Parkraumbewirtschaftung) im größeren Umfang eingebunden, wobei auch der Flächennutzungs politik „vor Ort“ unter dem Gesichtspunkt der Verkehrsreduktion eine größere Rolle als bisher zukommen muß.



### 3.3 Literatur zum Kapitel 3

- BMU (1996): EU-CO<sub>2</sub>-Beschluß führt zum 3-Liter-Auto. Interne Mitteilung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn, 23.7.1996.
- BMU (1996): EU-CO<sub>2</sub>-Beschluß führt zum 3-Liter-Auto. In: BMU-Presseinformation 86/96 S. Bonn, 23.7.1996.
- Bundesverkehrswegeplan 1992 (BVWP '92): Hrsg.: Der Bundesminister für Verkehr. Bonn, Juli 1992.
- DIW, IVV, Metron, Prognos/BVU (1990): Gesamtverkehrsplan Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse der Untersuchungen zur künftigen Verkehrsentwicklung, Düsseldorf 1990.
- DIW (Projektleitung), ifeu und IVU/HACON (1990): Verminderung der Luft- und Lärmbelastungen im Güterfernverkehr 2010. In: Berichte des Bundesumweltamtes. Berlin, Heft 5/1994.
- Deutscher Bundestag (1996): Antwort der Bundesregierung auf eine kleine Anfrage von Abgeordneten - Drucksache 13/4743 - zu Maßnahmen der Bundesregierung zur Verringerung des absoluten Kraftstoffverbrauchs. In: Drucksache 13/4847 des Deutschen Bundestages vom 12.6.96.
- Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages (1994): Zweiter Bericht zum Thema Mobilität und Klima - Wege zu einer klimaverträglichen Verkehrspolitik -. In: Deutscher Bundestag, 12. Wahlperiode, Drucksache 12/S. 300 vom 15.07.94.
- Environmental Council (1996): A Community Strategy to reduce CO<sub>2</sub>-Emissions and improve Fuel Economy - Council Conclusions. Conclusions of June 25-26 (96) Environment Council.
- European Commission (1996): Strategy for minimizing CO<sub>2</sub>-Emissions from Cars. In: europe information service (eis), document no. 468 - January 6, 1996.
- FhG-ISI, Öko-Institut (1997): Emissionsminderungsmaßnahmen für Methan, N<sub>2</sub>O, nichtmethanhaltige Kohlenwasserstoffe und prozeßbedingtes CO<sub>2</sub>. Karlsruhe, Berlin 1997.
- Hillebrand, B. et al (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien. In: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19. Essen 1996 (RWI/Ifo-Studie).
- Hopf, Rainer et al. (1990): Konzeptionelle Fortentwicklung des Verkehrsbereichs. In: Energie und Klima, Band 7. Hrsg.: Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Bonn/Karlsruhe 1990.
- Hopf, Rainer, Kuhfeld, Hartmut (1994): Preiserhöhungen im Güterverkehr sind notwendig und möglich. In: Wochenbericht des DIW, Nr. 3/1994, S. 39 ff.
- Hopf, Rainer, Kloas, Jutta, Rieke, Heilwig et al. (1996): Effizienz von Maßnahmen zur Verbrauchseinschränkung im Verkehrsbereich. Gutachten des DIW in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energetik und Umwelt (IE) im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft. Berlin 1996.
- Kinnock, M. (1996): Proposition de Directive Modifiant La Directive 93/89 Relative Aux Taxes Et Charges Routiers. Unterrichtung der Europäischen Kommission, COM (96) 331/4, Brüssel, Juli 1996.

- Kommission der EU (o.J.): Eine Strategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und der Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs (Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament). XI/845/94 Rev. 2, Brüssel, o.J., o.V.
- Prognos AG (1991): Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Reduktion der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2005. Untersuchung im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn. Basel 1991.
- Prognos AG (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft. Basel 1995.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1996): Umweltgutachten 1996 - Zur Umsetzung einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. In: Drucksache 13/4198 des Deutschen Bundestages vom 14.3.96.
- Ratzenberger, Ralf et al. (1995): Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen preispolitischer Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehr. Gutachten des Ifo-Instituts im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. Entwurf des Schlußberichts (bisher unveröffentlicht), München 1995.
- Rieke, Heilwig (1996): Weiterhin Wachstum von Fahrleistungen und Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr. In: Wochenbericht des DIW, Nr. 14/96, S. 227 ff.
- Rothengatter, Werner (1994): Road Pricing. In: Straße + Autobahn, Heft 8/1994, S. 425 ff.
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (1990): Weichenstellung für die neunziger Jahre. Jahresgutachten 89/90, Stuttgart 1990, S. 148, Z. 291.
- Süddeutsche Zeitung (1996): Mit Vollgas Sprit sparen - den Geldbeutel schonen - großes Informationsdefizit bei umweltfreundlicher Fahrzeugtechnik. In: SZ, München vom 4.6.1996.
- Umweltbundesamt (1996): Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur stärkeren Berücksichtigung der Schadstoffemissionen bei der Besteuerung von Personenkraftwagen (Expertengespräch des Finanzausschusses des Bundestages am 12.6.1996; Berichterstatter des ÜBA N. Gorißen). Berlin, 10. Juni 1996.
- VDA (1995): Freiwillige Zusage der deutschen Automobilindustrie zur Kraftstoffverbrauchsminderung. In: Presseerklärung vom 23.3.1995.
- Voigt, Ulrich (1992): Verkehrsweegepolitik muß umweltpolitische Ziele stärker berücksichtigen. In: Wochenbericht des DIW, Nr. 51/1992, S. 695 ff.
- Voigt, Ulrich et al. (1996): Ökonomische Folgenanalyse im Rahmen des TAB-Projektes „Optionen zur Entlastung des Verkehrsnetzes und zur Verlagerung von Straßenverkehr auf umweltfreundlichere Verkehrsträger“. Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Entwurf des Schlußberichts (bisher unveröffentlicht), Berlin 1996.
- Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Gruppe A Verkehrswirtschaft (1992): „Marktwirtschaftliche Instrumente zur Reduktion von Luftschadstoffemissionen des Verkehrs“. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Heft 2, 1992, S. 114 f.

## 4 Industrie und Kleinverbraucher<sup>23</sup>

Industrie und Kleinverbraucher werden in diesem Kapitel gemeinsam betrachtet, weil sich die Wirkungen der energiepolitischen Maßnahmen nicht für beide Sektoren getrennt ausweisen lassen.

### 4.1 Ausgangslage und Referenzentwicklung

Da sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher in der Periode von 1990 bis 1995 im Gefolge der Wiedervereinigung Deutschlands sehr verringerten, seien einleitend neben dem Basisjahr 1990 und den CO<sub>2</sub>-Projektionen jüngster Referenz-Szenarien für die Jahre 2000 bzw. 2005 auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen für 1995 genannt.

#### *Industrie*

Nach der Vorausschätzung von Prognos (1995) sowie RWI/Ifo (1996) nehmen die energiebedingten direkten (brennstoffseitigen) CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie von insgesamt knapp 170 Mill. t im Jahre 1990 auf rund 118 Mill. t CO<sub>2</sub> im Jahre 2005 ab (vgl. Tabelle 27). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Emissionen von 1990 bis 1995 bereits auf knapp 127 Mill. t zurückgegangen sind; verglichen mit den Erwartungen für 2005 würde es demnach nur noch zu einer weiteren Verminderung um weniger als 10 Mill. t CO<sub>2</sub> kommen. Einschließlich der indirekt durch die Stromnutzung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen dürften die insgesamt durch die Industrie in 2005 verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Referenzentwicklung gegenüber 1995 in etwa stagnieren und gegenüber 1990 um etwa 66 bis 74 Mill. t oder 22 bis 25 % sinken.

Betrachtet man die Gründe der Abnahme der genannten *direkten brennstoffbedingten* CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie in den Jahren von 1990 bis 2005 im Detail, so ist der Emissionsrückgang im wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Ein erheblicher *struktureller Wandel* von energieintensiven Industriezweigen - interwie intraindustriell - zu weniger energieintensiven Produktionen, insbesondere in den neuen Bundesländern, macht ceteris paribus mindestens 15 bis 18 Mill. t CO<sub>2</sub> bis 2005 aus.

<sup>23</sup> Kapitel 4 wurde federführend vom ISI bearbeitet; Kapitel 4.3 in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut.

- Ein erheblicher *Strukturwandel zwischen den Brennstoffen* hin zum Erdgas sowie ein erhöhter Stromanteil - auch hier ist der Strukturwandel der Energieträger in den neuen Bundesländern ausgeprägter - macht ceteris paribus und unter Berücksichtigung des industriellen Strukturwandels etwa 8 Mill. t CO<sub>2</sub> für die fossilinterne Brennstoffsubstitution innerhalb der Industrie und etwa 15 Mill. t CO<sub>2</sub> für die Brennstoffsubstitution durch Strom aus (dessen CO<sub>2</sub>-Emissionen hier separat gezählt werden).
- Eine deutliche *Verbesserung der Energieeffizienz* - ebenfalls mit größerer Bedeutung in den neuen Bundesländern durch vielfache Anlagenstillegungen und Aufbau modernster Produktionsstätten - führt schon in der Referenzprognose zu einem CO<sub>2</sub>-Minderungsbeitrag von etwa 30 bis 35 Mill. t. Hierin eingeschlossen sind allerdings die nicht spezifizierten intra-industriellen Struktureffekte, die wegen des Trends zu höherer Wertschöpfung in fast allen Branchen von erheblicher Bedeutung sein und mehr als 8 Mill. t betragen können.

Tabelle 27:

**Brennstoff- und strombedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie  
in den Jahren 1990 und 1995 sowie in Referenz-Szenarien bis 2005**

	Ist-Werte		Prognos 1995 <sup>2)</sup>		IKARUS	RWI/ifo
	1990	1995 <sup>1)</sup>	2000	2005	2005	2005
	Mill. t CO <sub>2</sub>					
brennstoffseitig						
* alte Bundesländer	120,7	111,5	106,0	102,7	117,5	105,1
* neue Bundesländer	49,0	15,3	14,5	15,2	16,8	11,0
* Deutschland	169,7	126,8	120,5	117,9	134,3	116,1
stromseitig						
* alte Bundesländer	92,7	87,7	92,0	93,5	89,0	93,2
* neue Bundesländer	38,7	18,6	19,5	24,3	24,0	17,6
* Deutschland	131,4	106,2	111,5	117,8	113,0	110,8
Summe Deutschland	301,2	233,1	232,0	235,7	247,3	226,9
spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen (kg/GJ <sub>st</sub> ) <sup>3)</sup>						
* alte Bundesländer	149	142	140	135	125	144
* neue Bundesländer	312	301	265	260	300	231

<sup>1)</sup> Schätzung auf Basis vorläufiger Daten der AG Energiebilanzen zum industriellen Endenergieverbrauch mit spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren laut Umweltbundesamt.  
<sup>2)</sup> Emissionen berechnet auf Basis der Prognos-Angaben zum Energieverbrauch, aber mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren laut Umweltbundesamt.  
<sup>3)</sup> Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit Bruttostromverbrauch.  
 Quellen: AG Energiebilanzen; Prognos 1995; VDEW 1996; DIW; Berechnungen des ISI.

Während der industrielle Strukturwandel und die Brennstoffsubstitution eher als *autonome* Entwicklungen und Folgewirkungen der Wiedervereinigung Deutschlands zu verstehen sind sowie durch Prozeßgegebenheiten und Produktqualitätsanforderungen determiniert, d.h. unbeeinflusst durch energie- und klimapolitische Maßnahmen einzuschätzen.

zen sind, sind vor allem *die Energieeffizienz und zum geringeren Teil die Energiesubstitution diejenigen Variablen, die Einflußgröße der Energie- und Klimapolitik* sein können. Deshalb konzentrieren sich die im folgenden analysierten Maßnahmen im wesentlichen auf die Energieeffizienz, und zwar sowohl bei den Brennstoffen als auch bei der Stromnutzung und Bereitstellung von Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplung. Von geringerem Einfluß bleibt nach wie vor die Substitution von Kohlen und Heizöl durch das kohlenstoffärmere Erdgas, das zusätzlich zu dem sowieso beobachtbaren Trend durch spezielle Maßnahmen noch etwas stärker genutzt werden könnte.

#### *Kleinverbraucher*

Die *brennstoffbedingten* direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor der Kleinverbraucher (in der sektoralen Abgrenzung der Energiebilanzen!) nehmen sowohl nach der Schätzung von Prognos (1995) als auch von RWI/Ifo (1996) von insgesamt 79 Mill. t im Jahre 1990 auf etwa 69 bzw. 63 Mill. t CO<sub>2</sub> im Jahre 2005 ab. Die *stromseitig bedingten* indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen stagnieren auf dem Niveau von 1990 bei rd. 70 Mill. t infolge verminderter spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der Stromerzeugungsseite (vgl. Tabelle 28). Nach dieser Referenz-Entwicklung werden die durch Flächen- und Produktionszuwachs bedingten Mehremissionen infolge von Effizienzverbesserungen und erheblichen Brennstoffsubstitutionen in den neuen Bundesländern letztlich noch um etwa 9 bis 13 Mill. t reduziert.

Dabei ist aber zu beachten, daß die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 1995 brennstoffseitig und stromseitig jeweils bei rund 60 Mill. t lagen, d.h. zusammen um fast 20 % unter dem Ausgangsniveau von 1990. Dieser Rückgang ist im wesentlichen durch Substitution von Braunkohle und Heizöl durch Erdgas, Effizienzverbesserungen durch Kessel- und Brenner-Ersatzinvestitionen sowie in der Stromerzeugung zu erklären.

Allerdings gehen Prognos (1995) und RWI/Ifo (1996) davon aus, daß sich dieser Trend der letzten fünf Jahre nicht fortsetzt, sondern die wachstumsbedingten Einflußfaktoren gegenüber weiteren Effizienzverbesserungen dominieren, so daß es gegenüber 1995 bis zum Jahre 2005 zu einem Wiederanstieg der insgesamt verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 15 bis 20 Mill. t kommen könnte. Zur Verwirklichung der von der Bundesregierung

verfolgten CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele werden somit auch für die Kleinverbraucher zusätzliche Maßnahmen notwendig sein.

Tabelle 28:

**Brennstoff- und strombedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Kleinverbraucher<sup>1)</sup>  
in den Jahren 1990 und 1995 sowie in Referenz-Szenarien bis 2005**

	Ist-Werte		Prognos 1995 <sup>3)</sup>		IKARUS	RWI/ifo
	1990	1995 <sup>2)</sup>	2000	2005	2005	2005
	Mill. t CO <sub>2</sub>					
<b>brennstoffseitig</b>						
* alte Bundesländer	52,0	48,5	56,0	54,9	45,9	48,3
* neue Bundesländer	27,0	11,5	15,3	14,2	10,5	14,9
* Deutschland	79,0	60,0	71,3	69,1	56,4	63,2
<b>stromseitig</b>						
* alte Bundesländer	46,9	47,4	50,1	50,9	41,5	56,5
* neue Bundesländer	22,5	13,3	16,9	19,7	16,6	15,6
* Deutschland	69,4	60,6	67,0	70,6	58,1	72,1
<b>Summe Deutschland</b>	<b>148,4</b>	<b>120,6</b>	<b>138,3</b>	<b>139,7</b>	<b>114,5</b>	<b>135,4</b>
<b>spez. CO<sub>2</sub>-Emissionen (kg/GJ<sub>st</sub>)<sup>4)</sup></b>						
* alte Bundesländer	149	142	140	135	125	144
* neue Bundesländer	312	301	265	260	300	231

<sup>1)</sup> Beachte: Kleinverbraucher in dieser Tabelle durchgängig in der sektoralen Abgrenzung der Energiebilanzen!

<sup>2)</sup> Schätzung auf Basis vorläufiger Daten der AG Energiebilanzen zum sektoralen Endenergieverbrauch mit spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren laut Umweltbundesamt.

<sup>3)</sup> Emissionen berechnet auf Basis der Prognos-Angaben zum Energieverbrauch, aber mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren laut Umweltbundesamt.

<sup>4)</sup> Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit Bruttostromverbrauch.

Quellen: AG Energiebilanzen; Prognos 1995; VDEW 1996; DIW; Berechnungen des ISI.

#### 4.2 Beschreibung der untersuchten Maßnahmen und Wirkungsabschätzung für energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

Im folgenden werden zunächst die Wirkungen von Einzelmaßnahmen beschrieben und - soweit dies überhaupt möglich ist - auch quantifiziert. Im Anschluß daran wird der Versuch gemacht, die zusätzlich zum „Mit Maßnahmen-Szenario“ erforderlich erscheinenden Maßnahmen oder Maßnahmenbündel mit ihren jeweils quantifizierten Wirkungen integrativ so zu behandeln, daß Doppelzählungen vermieden und Synergie-Effekte berücksichtigt werden (vgl. Kapitel II.4.4).

Die Einzelmaßnahmen werden im folgenden nach Art der Maßnahmen behandelt. Wegen der weitgehend ähnlichen Ausprägung und Wirkung emissionsbeeinflussender Aktivitäten werden dabei die Sektoren Industrie und Kleinverbraucher gemeinsam angesprochen, die Wirkungen einzelner Maßnahmen waren auch häufig nur für beide Sektoren gemein-

sam abzuschätzen, weil für die Zuordnung zu den beiden Sektoren keine Informationen zur Verfügung standen.

#### 4.2.1 Ordnungsrecht

Als wesentliche und bereits im „Mit Maßnahmen“-Szenario berücksichtigte Maßnahmen des Ordnungsrechtes werden hier betrachtet (vgl. Tabelle 29):

- die WärmeschutzVO in ihrer Fassung vom 5.7.1994 (IMA Nr. 29),
- die HeizungsanlagenVO in ihrer Fassung vom 1.6.1994 (IMA Nr. 30) sowie
- die Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO (IMA Nr. 101).

Von den in Zukunft denkbaren ordnungsrechtlichen Maßnahmen werden diskutiert:

- ein neuer Entwurf einer WärmenutzungsVO (vgl. auch IMA Nr. 90), die auch ein branchenspezifisches benchmarking beinhaltet,
- eine ElektroanwendungenVO für einige ausgewählte, massenhaft angewandte elektromotorische Systeme wie Pumpen, Kompressoren Ventilatoren, PC und Kopierer,
- eine neue Novellierung der WärmeschutzVO, die auch den Gebäudebestand bei Industrie und Kleinverbrauch intensiv erfaßt,
- eine Gebäudevermietungs- und -verkaufsVO, die die Vorlage von Energiekennzahlen (Wärmebedarfsausweis) bei Neuvermietung und Verkauf von Gebäuden vorsieht.
- eine GrundsteuerVO, die eine unterschiedliche Grundsteuerstaffelung für Gebäude entsprechend ihrem wärme- und energietechnischen Zustand hat.

Teilweise sind die hier genannten ordnungsrechtlichen Maßnahmen alternativ zu anderen Instrumenten zu suchen, z. B. zu freiwilligen Selbstverpflichtungen von Herstellerverbänden (vgl. Kapitel II.4.2.7).

##### 4.2.1.1 Ergriffene Maßnahmen

Die seit dem 1.1.1995 in Kraft getretene neue Fassung der *WärmeschutzVO* reduziert den spezifischen Heizwärmebedarf bei Neubauten um etwa 30 %, und für Kernsanierungen bestehender Gebäude werden auch die neuen Standards vorgeschrieben.

Tabelle 29:

### Ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mill. t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen							
1	Novellierung der WärmeschutzVO  (IMA: Nr. 29)	Ordnungsrecht	Die Novellierung reduziert im Durchschnitt den Heizwärmebedarf um etwa 30%, im wesentlichen bei Neubauten; in Kraft seit 1.1.1995. Berechnet über Annahmen zum Neubau und Abriß sowie Grundsanierung von Gebäuden in beiden Sektoren	Industrie	ergriffen	0,2	0,4 <sup>1)</sup>
				Kleinverbr.		0,8	1,6 <sup>1)</sup>
2	Novellierung der HeizanlagenVO  (IMA: Nr. 30)	Ordnungsrecht	Höhere Effizienzanforderungen an neue Kessel und Brenner; Haupteffekt durch Kessel- und Brennersubstitutionen; in Kraft seit 1.6.1994. CO <sub>2</sub> -Minderung berechnet über Annahmen zu Kesselsatzinvestitionen, Brennerkesselanteilen und Einspareffekten (stromseitig: minus 0,3 Mill. t CO <sub>2</sub> ).	Industrie	ergriffen	0,3	0,6 <sup>1)</sup>
				Kleinverbr.		1,2	2,4 <sup>1)</sup>
3	Novellierung 1. BImSchV-Kleinf FeuerungsanlagenVO  (IMA: Nr. 101)	Ordnungsrecht	Alle Grenzwerte für Abgasverluste nach Nennwärmeleistungsklassen: 11 % (4-25 kW); 10 % (25-50 kW); 9 % (50 - 1000 kW); Novellierung erfolgt ab 1997 mit jeweils um 2%-Punkten verbesserten Anforderungen; weiterhin Prüfung durch Schornsteinfeger. Berechnet mit den geforderten Wirkungsgradverbesserungen.	Industrie	ergriffen	0,05	0,1
				Kleinverbr.		0,15	0,3
b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen							
4	Wärmenutzungs-VO  (IMA: Nr. 90)	Ordnungsrecht	Vorgeschriebene Energielieferanalysen in Betrieben; Energie-bench-marking durch Wirtschaftsverbände/ Brancheninstitute; Wirkungsgrad-Nachweise ausgewählter Anlagen Abschätzung über betriebsinterne und -externe Abwärmenutzung (betriebsintern 4 - 5 Mill. t, betriebs-extern in der Industrie genutzt 2 Mill. t sowie im Kleinverbraucher ca. 3 Mill. t)	Industrie	vorge-schlagen	1,0	6,5
				Kleinverbr.		0,2	3,0
5	Elektroanwendungs-VO	Ordnungsrecht	Mindestjahresnutzungs- oder Wirkungsgrade von in Großserien produzierten Elektromotoren und von ihnen betriebenen Komponenten (z.B. Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren). Berechnungen anhand von Daten der IKARUS-Datenbank und eigener Schätzungen.	Industrie	vorge-schlagen	0,1 <sup>2)</sup>	1,5 <sup>2)</sup>
				Kleinverbr.		0,0	0,5 <sup>2)</sup>
6	Novellierung der WärmeschutzVO für Gebäudebestand in Industrie und Kleinverbrauch (analog IMA-Nr. 102)	Ordnungsrecht	Erweiterung der WärmeschutzVO auf gewerblich genutzte und öffentliche Gebäude: * Austausch der Einzelscheiben-Fenster durch Wärmeschutzverglasung bei Gebäuden mit Raumtemperaturen > 18°C bis 2010 * dito bei Gebäuden mit T <sub>a</sub> 10°C bis 18°C bis 2015 * Verbesserung des Wärmeschutzes auf den jeweiligen Stand der WSchVO für Neubauten bei Fassaden- und Dachsanierungen von Gebäuden mit Raumtemperaturen > 18°C bis 2020 * dito bei Gebäuden mit T <sub>a</sub> 10°C bis 18°C bis 2025 Berechnungen anhand geschätzter Energieeinsparungen für die einzelnen Komponenten/Gebäudebereiche.	Industrie	vorge-schlagen	0,1	1,0 <sup>1)</sup>
				Kleinverbr.		0,5	5,0 <sup>1)</sup>
7	Gebäudevermietungs- und -verkaufsVO	Ordnungsrecht	Vorlage eines Wärmebedarfsausweises mit Energiekennzahlen seitens des Gebäudeeigners bei Mietvertragsabschluß-verlängerung sowie Gebäudeeignerwechsel, ab 1998, Ausweitung der SAVE-Richtlinie 93/76/EWG. Schätzung.	Industrie	vorge-schlagen	0,0	0,1
				Kleinverbr.		0,1	0,5
8	GrundsteuerVO	Ordnungsrecht	Erhöhte Grundsteuerzahlungen für Gebäude, die eine bestimmte Energiekennzahl zu einem bestimmten Zeitpunkt übersteigen, ab 1999. Grobe Schätzung.	Kleinverbr.	vorge-schlagen	0,1	0,5

<sup>1)</sup> Einsch. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Mindernngen durch Stromeinsparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

Berücksichtigt man, daß der Raumwärmebedarf bei den Kleinverbrauchern und in der Industrie etwa 50 % desjenigen der privaten Haushalte beträgt, und unterstellt in Anlehnung an die Berechnungen von STE (vgl. Kapitel II.5.1.4) um ein Viertel geringere Neubauraten für die Gebäudeflächen im Kleinverbrauch und in der Industrie, so liegt die Reduktion infolge der heute gültigen WärmeschutzVO bei etwa 2 Mill. t/a bis zum Jahre 2005 (davon Industrie 0,4 Mill. t und Kleinverbraucher 1,6 Mill. t), wobei für die gegen-



über Wohngebäuden anderen Gebäudetypen dieser Sektoren ein Abschlag von 15 % vorgenommen und für einen Teil der Industriehallenbeheizung eine Abwärmenutzung angenommen wurde.

Die seit dem 1.6.1994 in Kraft befindliche Fassung der *HeizanlagenVO* verschärfte die Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und zentrale Brauchwasseranlagen, die in der Industrie allerdings wenig vertreten sind, weil sie mit Abwärme oder Heißwasser aus dem Produktionsbereich betrieben und die Produktionshallen häufig mit Luftheritzern beheizt werden. Deshalb fallen die Auswirkungen im Kleinverbrauch deutlich größer aus. Die hier ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionsverminderungen von etwa 3,0 Mill. t für das Jahr 2005 gehen davon aus, daß der Kesselbestand bis 2005 fast vollständig erneuert wird und der Anteil der Brennwertkessel deutlich zunimmt. In diesen Zahlen enthalten sind verminderte Stromverbräuche für elektronisch gesteuerte Umwälzpumpen in Höhe von etwa 0,3 Mill. t CO<sub>2</sub>.

Die Novellierung der *KleinfeuerungsanlagenVO* reduziert die maximal zulässigen Abgasverluste von Heizkesseln entsprechend dem Stand der Technik mit jeweils etwa zwei Prozentpunkten je nach Leistungsklasse der Kessel. Sie sorgt für einen beschleunigten Wechsel alter Anlagen bzw. eine verbesserte Wartung des Anlagenbestandes infolge der Beanstandungen durch das Schornsteinfegerhandwerk. Auch hier wird wie bei der Wirkungsabschätzung der HeizungsanlagenVO davon ausgegangen, daß diese Verordnung im wesentlichen für den Kleinverbrauchersektor relevant ist. Unter Berücksichtigung eines Abschlags für die größeren Anlagen und einer durchschnittlich besseren Wartung der Anlagen sowie eines Abschlags für den höheren Fernwärmeanteil im Verhältnis zu den Berechnungen für die privaten Haushalte errechnet sich ein Minderungspotential von knapp 0,3 Mill. t für das Jahr 2005 für den Kleinverbrauchssektor und knapp 0,1 Mill. t für den Industriebereich. Diese Maßnahme hat somit zwar eine geringe, aber eine schnell erreichbare Wirkung.

An den drei o. g. Verordnungen wird deutlich, wie unterschiedlich die Gesamtwirkung der einzelnen Maßnahme in ihrer zeitlichen Entfaltung ist: Während die CO<sub>2</sub>-mindernde Wirkung der WärmeschutzVO erst über drei bis vier Jahrzehnte voll zur Geltung kom-

men wird, dürfte die Wirkung der Kleinf FeuerungsanlagenVO bereits im Jahre 2000 weitgehend erzielt worden sein.

#### 4.2.1.2 Weitere in Betracht gezogene ordnungsrechtliche Maßnahmen

Die Entwicklung der *WärmenutzungsVO* im Gesetzgebungsprozeß wurde von den Selbstverpflichtungen der Deutschen Wirtschaft in den Jahren 1995 und 1996 zunächst einmal gestoppt. Da aber weiterhin die Erklärung der deutschen Wirtschaft mit einem offenen Ergebnis in der zweiten Hälfte der 90er Jahre von einem Teil der Fachwelt eingeschätzt wird, wäre alternativ eine *WärmenutzungsVO* zu erwägen, die für jeden Betrieb eine Energieflußanalyse und ein benchmarking vorsieht, wonach der Betrieb seine Energieverbrauchswerte an den in der jeweiligen Branche erreichten Werten (z.B. des besten Wertes, des Wertes im oberen Drittel oder des Medianwertes) messen und damit seine eigene Position zu derjenigen der Wettbewerber in Relation stellen kann.

Außerdem sollten für die üblichen Nebenanlagen und Energiewandler (z. B. Kessel, Lufterzeugungs- und Kältesysteme) Mindestwirkungsgrade und eine Pflicht zur Abwärmenutzung vorgegeben und durch Stichproben kontrolliert werden. Die CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung kann – je nach Ausgestaltung einzelner Vorschriften – sehr unterschiedlich eingeschätzt werden. Hier wurde davon ausgegangen, daß der Prozeßwärmebedarf der Industrie in Zukunft bereits im Referenzfall deutlich zurückgeht (vgl. Tabelle 27) und die Wärmenutzungspotentiale durch Erneuerungsinvestitionen und zum Teil notwendige Umbauten erst im Reinvestitionszyklus rentabel durchgeführt werden können. Deshalb fallen die Schätzungen hier geringer als bei RWI/Ifo (1996) im IMA-Szenario aus. Die durch die Verordnung erzielbare betriebsinterne Wärmenutzung wird mit 4 bis 5 Mill. t CO<sub>2</sub>-Minderung bis zum Jahre 2005 unterstellt (entsprechend etwa 65 bis 80 PJ), und für die *externe Nutzung* von Abwärme im Kleinverbrauch (Schwimmbäder, Gebäude) werden 3 Mill. t CO<sub>2</sub>-Minderungen (50 PJ) und für die Industriebetriebe weitere 2 Mill. t CO<sub>2</sub> (30 PJ) angenommen.

Bei Betriebsbegehungen stellt man immer wieder fest, daß die energiewandelnden Nebenanlagen mit relativ hohen energetischen Verlusten arbeiten und bei Reinvestitionen von seiten der Anwender häufig nicht die energieeffiziente Lösung gewählt wird, sondern

- meist aus Unwissenheit - ungünstigere Lösungen zum Zuge kommen. Insbesondere in Nebenanlagen mit Massenprodukten als Komponenten (z.B. Elektromotoren mit Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren u.ä.) erscheint es viel effizienter, über eine Verordnung oder alternativ über eine Selbstverpflichtung der Hersteller die bestehenden Hemmnisse zu überwinden. Deshalb wird vorgeschlagen, eine *Verordnung für Elektroanwendungen* zu erwägen, die folgende Elektroantriebe umfaßt: Elektromotoren ab 100 W, Umwälzpumpen, Kreiselumpen mit hohen Fertigungszahlen, Ventilatoren, Kompressoren für Druckluft- und Kälteerzeugung. Diese Aggregate benötigen – je nach Abgrenzung im einzelnen – etwa 5 bis 30 % des betrieblichen Strombedarfs, der nach vorsichtiger Einschätzung anhand der Betriebsbegehungen, dokumentierter Reinvestitionen und Berechnungen um 15 bis 25 % reduziert werden könnte. Dieses langfristig durch Reinvestitionen zu erzielende Einsparpotential entspricht einem Strombedarf von etwa 20 PJ oder knapp 3 Mill. t CO<sub>2</sub>. Davon könnte etwa die Hälfte, d.h. rund 1,5 Mill. t CO<sub>2</sub>, bis zum Jahre 2005 realisiert sein. Im Bereich der Kleinverbraucher lassen sich die möglichen Minderungen dieser Anwendungen auf 7 bis 13 PJ oder mit Blick auf die stromseitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 1 bis 2 Mill. t CO<sub>2</sub> veranschlagen, wovon bis 2005 mindestens 0,5 Mill. t CO<sub>2</sub> realisiert sein könnten.

Eine hier vorgeschlagene *Novellierung der WärmeschutzVO*, die ab 1999 in Kraft treten könnte, soll sich *speziell auf den Gebäudebestand für die Industrie und Kleinverbraucher* konzentrieren. Denn infolge des Investor-Nutzer-Dilemmas oder geringer Beachtung von Raumwärmekosten ist der wärmetechnische Zustand der bestehenden Gebäude in Industrie und Kleinverbrauch sehr häufig unzureichend:

- Einzelverglasung findet man noch häufig in Gebäuden, die bis Mitte der 70er Jahre erstellt wurden, oder in Produktions-, Lager- und Verkaufshallen alte Isolierglasfenster mit k-Werten größer 2,8.
- Häufig sind unzureichende Wärmedämmung der Gebäudehülle und fehlende Verschattung großflächiger Fensterfassaden in meist klimatisierten Büro- und Verwaltungsgebäuden zu beobachten.

Unterstellt, daß etwa 25 % bis 30 % der Heizwärmeverluste durch die Fenster entstehen und daß 20 % dieser Verluste durch Einscheibenfenster und schlecht dämmende Isolier-

glasfenster ( $k \geq 2,8$ ) bedingt sind und diese durch *Wärmeschutzverglasung* im Durchschnitt um zwei Drittel vermindert werden können, errechnet sich ein zusätzliches Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparpotential von 3,5 bis 4 % im Raumwärmebereich, d.h. gut 35 bis 40 PJ oder 2,1 bis 2,4 Mill. t CO<sub>2</sub>; hiervon werden bis 2005 etwa 1,2 Mill. t CO<sub>2</sub> wegen der längeren Übergangsdauer bis 2010 bzw. für Gebäude mit Raumtemperaturen unter 18°C erreicht (für Industrie 0,4 Mill. t CO<sub>2</sub> und für Kleinverbrauch 0,8 Mill. t CO<sub>2</sub>). Durch diese Maßnahme würde auch der Kältebedarf klimatisierter Gebäude entsprechend reduziert. Eine quantitative Abschätzung wird wegen der geringeren Bedeutung nicht versucht.

Wesentlich größer wäre das Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential, wenn die Energieverluste durch eine verbesserte Wärmedämmung bei Wänden, Dächern und Kellerräumen reduziert würden. Hier sind durchschnittlich 40 bis 50 % Verminderung von Transmissionsverlusten durch Fassaden- und Dachsanierung durchaus möglich. Dies entspräche 320 bis 400 PJ oder 19 bis 24 Mill. t CO<sub>2</sub>, wovon bis 2005 unter der Voraussetzung, daß die Verordnung im Jahre 1999 in Kraft tritt, etwa ein Fünftel realisiert sein könnte, d.h. rund 4,3 Mill. t CO<sub>2</sub> bis 2005 im Kleinverbrauch und etwa 0,6 Mill. t CO<sub>2</sub> in der Industrie.

Beide Maßnahmen zusammen, die Fenstererneuerung und die Wärmedämmung im Reinvestitionszyklus, ergeben damit Energieeinsparungen bis 2005 von 17 PJ (oder 1 Mill. t CO<sub>2</sub>) für die Industrie und ca. 84 PJ (oder 5 Mill. t CO<sub>2</sub>) für den Kleinverbrauch.

Die Einführung einer *Gebäudevermietungs- und -verkaufsVO* knüpft an eine vergleichbare Verordnung für Wohngebäude in Dänemark sowie die SAVE-Richtlinie 93/76/EWG der EU-Kommission zum Wärmebedarfsausweis an. Sie nimmt besonders Bezug auf das Investor-/Nutzer-Dilemma durch Mieten oder Leasing von Gebäuden sowie auf die Geringschätzung von Energiekosten beim Besitzerwechsel von kommerziell genutzten Gebäuden. Eine Quantifizierung dieser Verordnung, die ein energietechnisches Gutachten bei Neuvermietung bzw. Verkauf vorschreibt, wird hier wegen mangelnder empirischer Hinweise nur sehr grob versucht. Es wird angenommen, daß höchstens 10 % der oben beschriebenen Wirkungen der WärmeschutzVO für den Altbau erreicht würden, d.h.

weniger als 0,1 Mill. t CO<sub>2</sub> für die Industrie und weniger als 0,5 Mill. t CO<sub>2</sub> für den Kleinverbrauch bis 2005.

Schwierig ist die Einschätzung der Wirkung einer *GrundsteuerVO*, die den Gebäudeeigern eine je nach erreichter Energiekennzahl des Gebäudes unterschiedliche Grundsteuer auferlegt. Gebäude, die eine Heizenergiekennzahl von beispielsweise mehr als 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 200 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreichen, müßten mit einer doppelt bzw. dreifach so hohen Grundsteuer wie diejenigen mit weniger als 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) beaufschlagt werden.

Diese Verordnung könnte auch gut mit der o.g. Gebäudevermietungs- und -verkaufsVO kombiniert werden. Ihre Wirkung dürfte schätzungsweise unter 0,5 Mill. t CO<sub>2</sub> im Kleinverbrauchssektor liegen, weil in vielen Fällen die höheren Nebenkosten durch die Grundsteuerverteilung auf die Gesamtmieten einen sehr geringen Einfluß haben und in der Regel an die Kunden der Mieter weitergereicht würden. Im Industriebereich wäre die Wirkung marginal.

Insgesamt führen die skizzierten *zusätzlich denkbaren* ordnungspolitischen Maßnahmen

- in der *Industrie* - je nach unterstelltem Maßnahmenbündel, das teilweise durch freiwillige Selbstverpflichtungen alternativ betrachtet werden muß (vgl. Kapitel II.4.2.7) - zu einer weiteren Reduktion um mindestens 2,5 Mill. t CO<sub>2</sub>. Hierbei ist unterstellt, daß die WärmenutzungsVO zunächst nicht wirksam wird.
- Hinzu kommt im *Kleinverbrauchsbereich* eine weitere Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um vielleicht 6 bis 6,5 Mill. t. bis zum Jahre 2005, wenn die jeweils unterstellten Zeitpunkte des Beginns der Maßnahmen eingehalten würden.

Dies wäre bereits ein erheblicher Beitrag durch ordnungspolitische Maßnahmen, deren genauer Beitrag erst durch eine Festlegung von Maßnahmenbündeln und simultane Berechnungen zu den energiewirtschaftlichen Auswirkungen ermittelt werden kann (vgl. Kapitel II.4.4 und III.3.4). Ein Teil der angegebenen CO<sub>2</sub>-Minderungen ist auf den Minderbedarf auf der Stromseite zurückzuführen; er zählt somit nicht zu den direkten Emissionsminderungen.

#### 4.2.2 Preispolitik

Die bisherigen preispolitischen Maßnahmen der Bundesregierung (vgl. Tabelle 30) beschränkten sich mit Blick auf die Sektoren Industrie und Kleinverbraucher auf

- die Steuerregelung für Kraft-Wärme-Kopplung (IMA-Nr. 13).

Als weitere Maßnahmen werden hier in Betracht gezogen:

- eine Neuverhandlung der Verbändevereinbarung zwischen BDI, VDEW, VIK und VEA zur Verbesserung der Rahmenbedingungen der Kraft-Wärme-Kopplung sowie
- das Angebot der öffentlichen Stromversorgung von sogenanntem „grünem“ Strom.

##### 4.2.2.1 Ergriffene Maßnahmen

Die *Mineralölsteuerregelung für Kraft-Wärme-Kopplung* in der seit dem 1.1.1993 geltenden *Neufassung des Mineralölsteuergesetzes* stellt eine Ergänzung der schon seit 1978 geltenden Steuerregelung für stationär betriebene Verbrennungsmotoren (z. B. BHKW) im bisherigen Mineralölsteuergesetz dar, indem die Regelung auch auf direkte Umwandlung in mechanische Energie zutrifft. Sie hebt die bis dahin bestehende steuerliche Diskriminierung der verbrennungsmotorischen Direktantriebe gegenüber Elektromotoren weitgehend auf. Allerdings ist die Neuregelung beschränkt auf Anwendungen, die einen Jahresbrennstoffnutzungsgrad von mindestens 60 % aufweisen. Alt- und Neuanlagen werden unterschiedlich behandelt (Suttor 1996). Der zusätzliche Effekt dieser Neuregelung ist schwer abzuschätzen, da unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten in Frage kommen; so kann der direkte Antrieb von Anlagenkomponenten (wie Verdichter z. B. für Kälteerzeugung oder Druckluft, Pumpen, Mischanlagen) im Einzelfall Kosten- und Effizienzvorteile gegenüber dem BHKW zur Stromerzeugung bringen, sofern die gleichzeitig anfallende Wärme auch genutzt werden kann (Arenhövel/Liekmeier 1993). Der direkte Antrieb hat jedoch auch erhebliche Nachteile, weil damit die Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs gewährleistet sein muß. Die übliche wärmebedarfsgeführte Steuerung eines BHKW wird somit umgekehrt in eine kraftbedarfsgeführte Regelung. In der Praxis kommt daher diese KWK-Variante nur in größeren Betrieben mit möglichst kontinuierlichem und simultanem Kraft- und Wärmebedarf in Frage. Derzeit dürften diese Anwendungen noch relativ selten und damit die Auswirkungen auf die Reduktion des Strombedarfs (0,6 PJ) und der CO<sub>2</sub>-Emissionen (<0,1 Mill. t CO<sub>2</sub>) bis 2005 sehr begrenzt sein.

Eine Information zur Verbreitung dieser Anwendung – auch für die Zukunft – liegt nicht vor. Sicher ist allerdings, daß verbrennungsmotorisch betriebene KWK-Anwendungen mit Direktantrieb – wie auch die schon länger begünstigten BHKW mit Verbrennungsmotoren – ohne die Steuerbegünstigung nicht wirtschaftlich betrieben werden könnten.

Tabelle 30:

**Preispolitische Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mtl. t CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	
						2000	2005
<b>a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen</b>							
9	Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung  (IMA: Nr. 9)	Preispolitik	Erweiterung der schon seit 1978 geltenden Steuerregelungen für Diesel als Kraftstoff zur Strom- und Wärmezeugung in verbrennungsmotorisch betriebenen BHKW auf solche Anwendungen der Kraft-Wärme-Kopplung, denen ein Teil der zugeführten Brennstoff in Wärme, der andere Teil jedoch nicht in Strom, sondern direkt in mechanische Energie umgewandelt wird (stationäre Verbrennungsmotoren mit Direktantrieb). Die steuerliche Neuregelung ist notwendige Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb derartiger KWK-Anwendungen; der zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderungseffekt ist jedoch aufgrund der sehr begrenzten Anwendungsmöglichkeiten dieser Technik und die Notwendigkeit, die gleichzeitig anfallende Wärme sinnvoll zu nutzen, nur schwer abschätzbar und vermutlich sehr gering.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering (< 0,1)
<b>b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen</b>							
10	Neuverhandlung der Verbändevereinbarung	Preispolitik	Verbesserung der in der bisherigen Verbändevereinbarung zwischen BDI, VDEW und VIK eher ungünstigen Rahmenbedingungen für KWK durch eine Neuverhandlung mit Zielrichtung einer Orientierung an den langfristigen Grenzkosten und voller Berücksichtigung der statistisch anrechenbaren Leistung dezentraler Stromeinspeiser und der vermiedenen Verluste auf Hochspannungsebene. Quantitative Wirkung abhängig von genauer Spezifikation; bei einem Potential von 30 PJ/a errechnet sich eine vermiedene CO <sub>2</sub> -Menge von ca. 2,4-3,5 Mill. t.	Industrie, Kleinverbrauch	vorgeschlagen	>0,1	2,4 bis 3,5 <sup>2)</sup>
11	Angebot der öffentlichen Stromversorgung von "grünem" Strom	Preispolitik	Angebot eines Strompreistarifs von "grünem" Strom, der aus einem Mix von Windenergie, Wasserkraft sowie GuD- und gasbetriebenen KWK-Anlagen stammt und einen - gegenüber heutigen 19 bis 23 DP/kWh - um 10 bis 12 DP/kWh höheren Durchschnittspreis hätte. Quantitative Wirkung dieser Maßnahme ist abhängig von der Bereitschaft der Stromverbraucher, einen solchen Tarif zu wählen. Würde 1 % des Strombedarfs von Industrie und Kleinverbrauch durch grünen Strom gedeckt, so entspräche dies einer CO <sub>2</sub> -Minderung von etwa 2 Mill. t bis 2005; zugleich Einsparung bei Strom.	Industrie, Kleinverbrauch	vorgeschlagen	0,3  <0,1	2,0 <sup>2)</sup>  0,5 bis 1,0 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Einsch. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. – <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

#### 4.2.2.2 Weitere in Betracht gezogene preispolitische Maßnahmen

Die *Verbändevereinbarung zwischen BDI/VDEW/VIK* regelt lediglich die Stromvergütung für eingespeisten Strom aus KWK-Anlagen von Eigenstromerzeugern. Die Vergütung orientiert sich derzeit an den kurzfristig vermiedenen Grenzkosten der Stromerzeugung, nicht aber an den langfristigen Grenzkosten. Sie berücksichtigt auch nicht in vollem Umfang die statistisch anrechenbare Leistung vieler dezentraler Stromeinspeiser und die Verluste auf der Hochspannungsebene. Die bisher für eine breitere Anwendung der

KWK ungünstigen Rahmenbedingungen müßten daher zwischen den beteiligten Wirtschaftsverbänden neu verhandelt werden, wobei der Verband der Energieabnehmer (VEA) als Vertreter kleiner und mittlerer Unternehmen an diesem Verhandlungsprozeß beteiligt sein sollte. Die quantitative Abschätzung der Wirkungen einer *neu verhandelten Verbändevereinbarung* hängt von ihrer genauen Ausprägung ab, die zunächst nicht genauer spezifiziert werden kann.

Wenn man aber unterstellt, daß mit einer neuen Regelung die untere Grenze der Potentialschätzungen der KWK im IKARUS-Modell für 2005 erreicht werden könnte, d.h. zusätzlich 30 PJ<sub>el</sub> pro Jahr oder 1,8 GW bei 4 500 Vollbenutzungsstunden, dann entspräche dies bei einem durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswert von 160 kg/GJ<sub>el</sub> für den öffentlichen Strom gegenüber 80 kg/GJ<sub>el</sub> für den in KWK-Anlagen erzeugten Strom einer vermiedenen CO<sub>2</sub>-Menge von 2,4 Mill. t im Jahre 2005. Handelt es sich bei der Substitution um höhere Anteile von kohlebasiertem Mittellast-Strom in der öffentlichen Versorgung, könnte die vermiedene CO<sub>2</sub>-Menge auch deutlich über 3 Mill. t liegen. Längerfristig könnte diese CO<sub>2</sub>-Menge noch weiter gesteigert werden, wenn weitere Kesselreinvestitionen fällig werden und Betreibergesellschaften die wirtschaftlichen KWK-Potentiale nutzen wollen. Allerdings muß bei der Bewertung dieser CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale darauf geachtet werden, daß Doppelzählungen mit den Wirkungen der Selbstverpflichtung der Verbände VDEW, VIK und BGW (vgl. Kapitel II.4.2.7.1) vermieden werden.

Sollten die Wirtschaftsverbände sich nicht auf eine neue Regelung verständigen, wäre zu prüfen, ob die Bundesregierung durch die *Novellierung der 5. DurchführungsVO zum Energiewirtschaftsgesetz* ersatzweise eine entsprechende Regelung erläßt. Hierbei könnte auch ein höheres Maß des KWK-Potentials ausgeschöpft werden, beispielsweise zusätzlich 50 PJ<sub>el</sub>, was einer vermiedenen CO<sub>2</sub>-Menge um 5 Mill. t für den Bereich der Industrie gleichkäme.

Schließlich wäre zu erwägen, ob die Bundesregierung durch Änderung der Bundestarifordnung Elektrizität (BTOEl) den Stromversorgungsunternehmen die Wahlmöglichkeit eines „grünen Tarifs“ vorschreibt. Dieser Vorschlag entspringt der Vorstellung, dem Stromkunden verschiedene Qualitäten von Strom entsprechend seiner Erzeu-



gung und CO<sub>2</sub>-Intensität zur Wahl anbieten zu müssen. Vorstellbar wäre ein Stromangebot, das durch einen Mix von Windkraft-, Wasserkraft- und gasgefeuerten GuD-Anlagen (oder eventuell auch solarer Stromerzeugung) mit beispielsweise einer durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission von 20 bis 30 kg/GJ<sub>e</sub> charakterisiert ist und statt 19 bis 23 Pf/kWh einen Preis von etwa 30 oder 35 Pf/kWh (oder allgemein einen um 10 bis 12 Dpf/kWh höheren Durchschnittspreis) hätte.

Die Wirkung dieser Maßnahme hängt von der allgemeinen Bereitschaft der Stromverbraucher ab, einen solchen Tarif bzw. einen Aufpreis für Sondertarifkunden zu wählen (einen ersten Pilotversuch plant z.Zt. das RWE für einen größeren Kundenkreis), der Preisdifferenz zum Normaltarif sowie der generellen Akzeptanz des teureren, aber klimaverträglichen Stroms. Für bestimmte Kundengruppen, insbesondere im Bereich der Kleinverbraucher wie Banken, Versicherungen, Handwerk, Kirchen und Gebietskörperschaften (insbesondere Klimastädte), könnte es aus Imagegründen attraktiv sein, diesen teuren, aber klimaverträglicheren Strom zu wählen. Er würde auch Stromeffizienzpotentiale wirtschaftlicher machen und möglicherweise die Energiedienstleistungskosten der betroffenen Abnehmer allenfalls geringfügig erhöhen. Unter der Annahmen, daß nur etwa 1 % des Strombedarfs in Industrie und Handel/Gewerbe (entsprechend einem Stromverbrauch von ca. 4 150 GWh im Jahre 1994) durch derartigen Strom gedeckt würde, so entspräche dies - bei einem durchschnittlichen spezifischen Emissionswert von 160 kg/GJ<sub>e</sub> bei konventionell erzeugtem Strom gegenüber ca. 20 bis 30 kg/GJ<sub>e</sub> beim „grünen“ Strom - einer vermiedenen CO<sub>2</sub>-Menge von etwa 2 Mill. t/a im Jahre 2005 (bei breiterer Anwendung entsprechend höher). Berücksichtigt man die durch die höheren Strompreise induzierten Stromeinsparungen, die bei einem Viertel bis Drittel liegen könnten, so summiert sich der CO<sub>2</sub>-mindernde Effekt bis 2005 auf 2,5 bis 3 Mill. t.

#### 4.2.3 Subventionen

Als wesentliche bereits bis 1996 ergriffene Maßnahmen werden hier folgende *Kreditvergabeprogramme* behandelt, die zumindest in einem gewissen Umfang finanzielle Anreize für die Durchführung von Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung darstellen:

- das ERP-Energieeinsparprogramm (IMA-Nr. 7), das selbst einen Teil des umfassenderen, über die Deutsche Ausgleichsbank (DtA) abgewickelten ERP-Umweltprogrammes darstellt,

- das Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen (IMA-Nr. 71),
- das Umweltprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (IMA-Nr. 72),
- das DtA-Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank (IMA-Nr. 73) sowie
- das Umweltschutzbürgschaftsprogramm (IMA-Nr. 74).

Als weitere Maßnahmen wurden hier in Betracht gezogen (vgl. Tabelle 31):

- die Förderung eines sog. „Zweiten Kapitalmarktes“ für Investitionen, die der CO<sub>2</sub>-Reduktion dienen, sowie
- eine finanzielle Erweiterung und Konditionenverbesserung der o. g. Kreditprogramme zur Finanzierung derartiger Investitionsvorhaben.

Grundsätzlich weisen die genannten finanziellen Maßnahmen in Gestalt von Investitionsförderprogrammen einige Charakteristika auf, die sowohl die Quantifizierung der Wirkung dieser Maßnahmen als auch deren Zuordnung zu einzelnen Verbrauchssektoren - hier Industrie und Kleinverbraucher - erschweren oder sogar verhindern:

- Die genannten Investitionsförderprogramme richten sich an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (teilweise nur an kleine und mittlere Unternehmen) und wirken daher auf recht heterogene Sektoren im Bereich der Industrie und der Kleinverbraucher.
- Weiterhin umfassen die Programme neben CO<sub>2</sub>-wirksamen Investitionen im Energiebereich auch weitere Umweltbereiche (Abfall, Abwasser, Boden- und Gewässerschutz), wobei die auf die Energie entfallenden Investitionen nur teilweise aufgrund vorliegender statistischer Daten herausrechenbar sind (nur beim ERP-Programm und beim DtA-Umweltprogramm).
- Hinzu kommt, daß in allen Programmen neben der rationellen Energienutzung immer auch Maßnahmen zum verstärkten Einsatz regenerativer Energiequellen gefördert werden, so daß sich hier bei der Wirkungsanalyse Überschneidungen mit dem Bereich erneuerbare Energiequellen ergeben, deren CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt pro investierte DM zumindest unter heutigen Bedingungen im allgemeinen geringer ist als bei der rationellen Energieverwendung. Eine genaue Aufteilung der Wirkungen auf die rationelle Energieanwendung und die erneuerbaren Energiequellen wäre nur in einigen Fällen möglich. Es wurde deshalb darauf verzichtet.
- Schließlich ist bei allen Programmen der Anteil der öffentlichen Förderung relativ gering (oder wie beim KfW-Programm nicht existent), so daß der Unterschied zwischen normalen Marktkrediten und diesen speziellen Förderkrediten im Hinblick auf die Finanzierungskosten nicht so gravierend ist, als daß die Rentabilität von geplanten Investitionsvorhaben dadurch entscheidend beeinflußt würde.

Tabelle 31:

### Subventionspolitische Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mtl. t CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	
						2000	2005
a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen							
12	ERP-Energiesparprogramm  (IMA: Nr. 7)	Subventionen	Teilprogramm des ERP-Umweltprogramms. Bereitstellung zinsgünstiger Darlehen (bis zu 50 % der förderfähigen Investitionskosten, max. 1 Mill. DM) mit langer Laufzeit (10-15 a) und tilgungsfreien Anlaufjahren zur Förderung der rationellen Energieverwendung und der Nutzung erneuerbarer Energien (Kreditvolumen 1995: 1,8 Mrd. DM). Dadurch Anstoß zusätzlicher Investitionen in REN und REG. Effekt ohne empirische Erhebung quantitativ kaum abschätzbar. Wirkung der Förderprogramme auch als flankierende Maßnahme der Information und Motivation zu bewerten.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	mittel
13	Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen (IMA: Nr. 71)	Subventionen	Gewährung von Investitionskrediten für Umweltschutzmaßnahmen mit Demonstrationscharakter (u.a. für rationelle Energienutzung und erneuerbare Energien) aus Mitteln der KfW- oder DIA-Umweltprogramme, die durch Zins- oder Investitionszuschüsse des BMU verbilligt werden. Hauptwirkung der Maßnahme liegt in der Initialwirkung für potentielle Nachahmer solcher Vorhaben (Wirkung derzeit nicht quantifizierbar).	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	sehr gering	sehr gering
14	KfW-Umweltprogramm  (IMA: Nr. 72)	Subventionen	Bereitstellung zinsgünstiger Kredite (i.d.R. bis maximal 10 Mill. DM) mit langer Laufzeit und tilgungsfreien Anlaufjahren für Investitionen, die die Umweltsituation wesentlich verbessern (u.a. Maßnahmen zur rationellen Energieanwendung und zum Einsatz regenerativer Energien); gesamtes Kreditvolumen in 1994 rund 460 Mill. DM. Wirkung vergleichbar mit ERP-Energiesparprogramm, jedoch mengenmäßig geringer (s.o.).	Industrie, Handel, Gewerbe	ergriffen	sehr gering	gering
15	DIA-Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank  (IMA: Nr. 73)	Subventionen	Gewährung von zinsgünstigen Krediten für Vorhaben, die den Zielsetzungen des ERP-Umweltprogramms entsprechen. Bei Kombination mit dem ERP-Umweltprogramm Finanzierung bis 75 % der Investitionskosten, max. 10 Mill. DM. Das Kreditvolumen für REN- und REG-Maßnahmen lag 1995 bei knapp 600 Mill. DM. Wirkung ähnlich wie beim ERP-Energiesparprogramm, jedoch geringer.	Industrie, Handel, Gewerbe	ergriffen	sehr gering	gering
16	Umweltschutzbürgschaftsprogramm  (IMA: Nr. 74)	Subventionen	Haftungsfreistellung (60 % des Darlehensbetrages) für Investitionen in neue Umweltschutztechniken mittels DIA-Darlehen; Höhe der Bürgschaften derzeit ca. 6 Mill. DM. Zu weiteren als ergänzende Maßnahme zu den DIA-Umweltdarlehen, die die Durchführung derartiger Investitionen für kleine und mittlere Unternehmen erleichtert.	Industrie, Handel, Gewerbe	ergriffen	sehr gering	gering
b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen							
17	Förderung eines zweiten Kapitalmarktes	Subventionen	Verbesserung der bankrechtlichen Rahmenbedingungen für schon existierende Initiativen, günstiges Finanzkapital für klimarelevante Vorhaben bereitzustellen sowie steuerliche Anreize für Kapitalgeber. Zusätzlich oder alternativ: "Selbstverpflichtung der Banken", zweckgebundene zinsverbilligte Kredite für REG- und REN-Investitionen zu vergeben. Wirkung der Maßnahmen abhängig vom Durchsetzungsgrad bei Kreditgebern (Akzeptanz einer etwas geringeren Verzinsung). Annahme: Zusätzliche REN-Investitionen von ca. 1 Mrd. DM bewirken eine CO <sub>2</sub> -Minderung bis 2005 von etwa 1 Mill. t.	Industrie, Handel, Gewerbe	vorgeschlagen	0,2	1,0 <sup>1)</sup>
18	Verbesserung der Kreditprogramme ERP, DIA und KfW	Subventionen	Erweiterung des Kreditvolumens auf das Dreifache der heutigen Förderung, Erhöhung der Zinsdifferenz zum Kapitalmarktzins und verbessertes Marketing für die Förderprogramme, dadurch entscheidende Rentabilitätsverbesserungen für Investitionen in rationelle Energienutzung.	Industrie, Handel, Gewerbe	vorgeschlagen	gering	mittel

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromersparungen. - <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromersparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromersparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromersparungen.

Dies stellt grundsätzlich eine Quantifizierung der Wirkung dieser Programme vor große Probleme. Andererseits ist es auch unstrittig, daß allein die Tatsache des Angebotes derartiger Kreditprogramme die Aufmerksamkeit der Investoren auf diese Investitionsmög-

lichkeiten lenkt. Wie groß aber dieser Effekt ist, kann aufgrund mangelnder empirischer Analysen auch nicht genauer angegeben werden. Im Vordergrund steht hier daher eine qualitative Bewertung dieser Maßnahmen.

#### 4.2.3.1 Ergriffene Maßnahmen

Das *ERP-Energiesparprogramm* ist das vom Kreditvolumen her umfangreichste Programm, wobei dieses Programm selbst ein Bestandteil des ERP-Umweltprogramms ist. Nach Angaben der Deutschen Ausgleichsbank (1996) betrug das bewilligte Kreditvolumen in den Jahren 1994 und 1995 jeweils rund 1,8 Mrd. DM im Energieprogramm und jeweils etwa 4,5 Mrd. DM im gesamten Umweltprogramm. Dabei entfielen 1995 etwa 30 % der im Energieprogramm vergebenen Mittel auf die Förderung regenerativer Energien, und zwar überwiegend auf die Windenergie, 45 % auf die Kraft-Wärme-Kopplung und restlichen 25 % auf weitere Maßnahmen der rationellen Energienutzung (insbesondere energiesparende Produktionsverfahren). Der Anteil der öffentlichen Mittel an der Gesamtfinanzierung der Darlehen aus dem ERP-Umweltprogramm liegt bei 10 bis 15 %. Der Finanzierungsanteil beträgt bis zu 50 % der förderfähigen Investitionskosten, höchstens aber 1 Mill. DM pro Vorhaben. Die rein wirtschaftlichen Vorteile des ERP-Kredits gegenüber normalen Marktkrediten liegen

- in dem relativ günstigen, über die volle Laufzeit festen Zinssatz (bei grober Abschätzung dürfte die Verbilligung bei maximal einem Prozentpunkt liegen, in den neuen Bundesländern etwas darüber),
- in der langen Laufzeit (meist 10 Jahre in den alten, 15 Jahre in den neuen Bundesländern) und
- in der Tilgungsfreiheit in den ersten zwei (alte Bundesländer) bzw. fünf Jahren (neue Bundesländer).

Inwieweit diese Vorteile allein ausreichen, um die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieeffizienz oder die Nutzung erneuerbarer Energiequellen entscheidend zu beeinflussen und somit als echte zusätzliche CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale zu interpretieren, ist ohne empirische Erhebung quantitativ kaum abzuschätzen. Da die ERP-Kredite mit an-

deren öffentlichen Fördermitteln ohne Einschränkung zu kumulieren sind, ist außerdem davon auszugehen, daß in diesen Mitteln oder in der Kumulation bei vielen Investitionsvorhaben die eigentliche Anreizwirkung liegt. Dies dürfte vor allem für die Windenergie gelten, deren Anteil an den Investitionen aus dem ERP-Energiesparprogramm 1995 für Gesamtdeutschland bei 25 %, in den alten Bundesländern sogar bei 40 % lag. Die dadurch bewirkten Emissionsminderungen wären daher vorrangig dem Bereich der regenerativen Energiequellen zuzurechnen.

Insgesamt dürfte die Wirkung dieses Programmes als „mittel-CO<sub>2</sub>-mindernd“ und auch als flankierende Maßnahme zu werten sein, die der Information über Investitionsmöglichkeiten im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Energiequellen, der Motivation zur Durchführung solcher Maßnahmen sowie der Erleichterung ihrer Finanzierung dient. Dies gilt nicht nur für den Investor selbst, sondern auch für die mit der Finanzierung befaßten Hausbanken, über die diese Förderkredite im Regelfall abgewickelt werden. Insofern stellt diese Fördermaßnahme auch einen Beitrag zum Hemmnisabbau im Bankensektor bezüglich der Finanzierung derartiger Vorhaben dar, da Banken erfahrungsgemäß bei neuen Technologien in ihrer Kreditvergabe eher zurückhaltend sind.

Die übrigen Programme sind hinsichtlich ihrer Wirkung ähnlich zu beurteilen, wobei das ERP-Energiesparprogramm sowohl vom Kreditvolumen als auch von den Kreditbedingungen her sicherlich noch die größte Reduktionswirkung hat. Das *DtA-Umweltprogramm* ist vor allem als Ergänzung zum ERP-Umweltprogramm zu sehen, da sich die Zielsetzungen entsprechen und beide Programme kombiniert werden können, um damit einen höheren Finanzierungsanteil an den Investitionskosten zu erreichen. Allerdings beginnt hiermit auch die Gratwanderung öffentlicher finanzieller Anreize zwischen zusätzlicher Anreizwirkung und zusätzlichen Mitnehmereffekten (deshalb insgesamt eine „geringe“ Wirkung).

Das *KfW-Umweltprogramm*, das sich an alle Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Freiberufler richtet, hat eine ähnliche Zielsetzung wie das ERP-Umweltprogramm; das Volumen der insgesamt vergebenen Kredite ist mit ca. 460 Mill. DM im Jahre 1994 (Angabe der KfW 1996) jedoch deutlich geringer. Darunter entfällt ein derzeit nicht zu quantifizierender Teil auf Investitionen zur Energieeinsparung und zum Einsatz regene-

rativer Energiequellen. Auch hier ist eine Kumulierung des KfW-Kredites mit anderen öffentlichen Fördermitteln möglich.

Während die oben beschriebenen Programme eine, wenn auch nur schwer quantifizierbare, direkte CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkung haben, kommt dem *Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen* sowie dem *Umweltschutzbürgerschaftsprogramm* eine überwiegend indirekte Wirkung zu. Bei dem Investitionsprogramm handelt es sich um eine mit Zins- und Investitionszuschüssen des BMU unterstützte *Förderung von Demonstrationsvorhaben* zur Verminderung von Umweltbelastungen in den Bereichen rationelle Energieverwendung Abfallwirtschaft, Luftreinhaltung, Wasserwirtschaft und erneuerbare Energiequellen. 1995 betrug die Gesamtsumme der im Rahmen dieses Förderprogrammes geflossenen Zins- und Investitionszuschüssen nach Angaben des BMU 83,75 Mill. DM. Neben einer gewissen CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkung der einzelnen Demonstrationsvorhaben selbst liegt die Hauptwirkung dieser Maßnahme sicherlich in der Initialwirkung für potentielle Nachahmer. Ob dieses Ziel allerdings allein durch eine zusätzliche Förderung solcher Demonstrationsvorhaben mittels Zins- und Investitionszuschüssen in größerem Umfang erreicht werden kann, ist fraglich. Hilfreich wäre hier eine wissenschaftliche Begleitung derartiger Projekte und eine Aufbereitung der Ergebnisse und Erfahrungen in der Weise, daß sie für potentielle Imitatoren leicht zugänglich und nutzbar werden.

Das *Umweltschutzbürgerschaftsprogramm* schließlich ist als weitere ergänzende Maßnahme zu den DtA-Umweltdarlehen zu werten, die die Durchführung derartiger Investitionen für kleine und mittlere Unternehmen erleichtert.

#### **4.2.3.2 Weitere in Betracht gezogene subventionspolitische Maßnahmen**

Die in Betracht gezogenen weiteren Maßnahmen lassen sich in zwei Gruppen gliedern: Völlig neue Ansätze oder Erweiterung der bestehenden Maßnahmen:

Relativ neu und bisher kaum verbreitet ist die Förderung eines sogenannten „*Zweiten Kapitalmarktes*“ für Investitionen, die der CO<sub>2</sub>-Reduktion dienen. Denkbar ist zum einen die Verbesserung der bankrechtlichen Rahmenbedingungen für schon existierende Initia-

tiven wie spezielle Fonds von Banken (z. B. Versiko, BLS oder Ökobank), die u.a. günstiges Finanzkapital für klimarelevante Vorhaben bereitstellen. Hier könnte man an spezielle steuerliche Anreize für die Kapitalgeber in derartige Fonds denken. Zum anderen wäre auch - nach dem Vorbild der Selbstverpflichtungen der Industrie - eine „Selbstverpflichtung der Banken“ vorstellbar, zweckgebundene zinsverbilligte Kredite für Investitionen in rationelle Energieanwendung und den Einsatz regenerativer Energien zu vergeben. Die Finanzierung der Zinsreduktion könnte durch das Angebot spezieller Fonds für interessierte Kreditgeber, die durch eigens aufgelegte Marketing-Programme gewonnen werden müßten, sowie auch einen Verzicht der Banken auf einen Teil der Zinsmarge erfolgen.

Die Wirkung dieser Maßnahmen ist abhängig vom Durchsetzungsgrad bei den Kreditgebern (insbesondere Notwendigkeit der Akzeptanz einer etwas geringeren Verzinsung) und Kreditnehmern (insbesondere abhängig von der Höhe der Zinsreduktion und der Werbung für diese Maßnahme). Unterstellt, der zweite Kapitalmarkt stieße zusätzliche REN-Investitionen von ca. 1 Mrd. DM bis 2005 an, so ergäbe dies - bei einer durchschnittlichen Amortisationszeit dieser zusätzlichen Milliarde von 6 Jahren und drei Viertel bewirkte Brennstoffeinsparungen sowie ein Viertel Stromeinsparungen - eine CO<sub>2</sub>-Minderung von etwa 1 Mill. t (vgl. auch ähnliche Annahmen zur Abschätzung des Contracting, Kapitel II.4.2.8).

Aber auch durch eine finanzielle *Erweiterung und Verbesserung der schon existierenden Investitions-Förderprogramme* im Hinblick auf Finanzvolumen, Zinsverbilligung und verbessertes Marketing ließe sich eine gegenüber der heutigen Situation deutlich höhere Reduktionswirkung erreichen. Entscheidend wäre dabei - neben einer merklichen Erhöhung des Fördervolumens auf etwa das Dreifache der heutigen Förderung - die Erhöhung der Differenz zum Kapitalmarktzins, um den finanziellen Anreiz zu erhöhen. Um die Mitnahmeeffekte zu minimieren und die Unternehmen anzuhalten, mit Rentabilitätsberechnungsmethoden (und nicht mit der Risikobewertung der Amortisationszeiten) ihre Investitionsentscheidungen zu treffen, könnte man kurzlebige Investitionsgüter von der erhöhten Zinsverbilligung ausnehmen. Spezielle Anzeigenkampagnen zu energiesparenden Investitionen mit speziellen Zinsvergütungen sind heute durchaus eine Rarität und könn-

ten bei häufigerem Erscheinen dazu beitragen, das Image von Banken zu stärken und die Investoren auf ihre bestehenden Möglichkeiten hinzuweisen.

Eine Quantifizierung dieser zusätzlichen Maßnahmen ist allerdings nur mit sehr großen Unsicherheiten möglich, weil einerseits eine genaue Spezifikation von Zinsdifferenz, tilgungsfreier Zeit und Laufdauer sowie der förderbaren Investitionsbereiche geleistet werden müßte und zum anderen auch zusätzliche Maßnahmen wie Information, Ausbildung und Beratungsprogramme einen Einfluß auf die Reaktion der Unternehmen hätten (vgl. Kapitel II.4.2.6). Ein CO<sub>2</sub>-Minderungspotential von - je nach Ausgestaltung der Programme zu den finanziellen Anreizen in Industrie, Handel und Gewerbe - insgesamt ca. 2 bis 4 Mill. t CO<sub>2</sub> bis 2005 erscheint als erste sehr grobe Schätzung jedoch nicht unrealistisch.

#### **4.2.4 Öffentliche Investitionen**

Derzeit gibt es keine Maßnahmen zu öffentlichen Investitionen des Bundes, sondern nur seitens der Länder und von Gemeinden. Diese sind entweder in den Kapiteln II.4.2.1 bis II.4.2.7 implizit enthalten oder werden explizit in Kapitel II.4.2.8 erwähnt.

#### **4.2.5 Forschungsförderung**

##### **4.2.5.1 Ergriffene Maßnahmen**

Im Bereich von Industrie und Kleinverbrauch fördert die Bundesregierung im Energieforschungsprogramm und im Förderprogramm neue Technologien des BMBF sowie im Bauforschungsprogramm des BMBau neue Möglichkeiten der rationellen Energieanwendung, der Nutzung erneuerbarer Energiequellen, Substitutionen energieintensiver Verfahren und Produkte sowie kostensparende Techniken am Gebäude (vgl. Tabelle 32).

Das größere geschlossene und unmittelbar auf das Ziel der Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen gerichtete *Energieforschungsprogramm des BMBF* umfaßte von 1990 bis 1995 mit einem jährlichen Fördervolumen von insgesamt rund 225 Mill. DM folgende Gebiete (BMBF 1996a):



- Energiesparende Industrieverfahren, elektrochemische Verfahren und Elektrospeicher, Sekundärenergiesysteme und rationelle Energieverwendung und Solarenergienutzung in Haushalt und Kleinverbrauch (ca. 50 Mill. DM/a),
- Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (ca. 20 Mill. DM/a),
- Erneuerbare Energiequellen (Photovoltaik, Wind, Biomasse, Geothermie) (ca. 155 Mill. DM/a).

Tabelle 32:

**FuE-Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mill. t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
<b>a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen</b>							
19	4. Programm Energieforschung und -technologie  (IMA; Nr. 41 bis 49)	FuE	Das vierte Energieforschungsprogramm konzentriert sich bei der Effizienzverbesserung auf Feuerungstechnik, neue effiziente Energiewandler und rationelle Energienutzung (165 Mill. DM/a), bei den CO <sub>2</sub> -freien Energiewandlern und auf erneuerbare Energiequellen (220 Mill. DM/a) und Kernenergie (190 Mill. DM/a). Quantitative Schätzungen zu den Wirkungen sind nicht durchgeführt worden.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	k.A.	mittel
20	Umweltechnik und neue physikalische Techniken  (IMA; Nr. 40)	FuE	MaTec-Forschungsprogramm des BMBF mit rd. 300 Mill. DM/a, insbesondere im Bereich extrem belastbarer und langlebiger Werkstoffe sowie leichter Werkstoffe. Programm für physikalische und chemische Technologien mit rund 500 Mill. DM/a, insbesondere Katalysatoren, Supraleitung, Dünnschicht-, Plasma- und Laser-Technik.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	k.A.	mittel
21	Bauforschungsprogramm	FuE	Passiv- und Niedrigenergiegebäude, Ressourceneinsparung und Kostensenkung beim Bauen, Recycling von Baustoffen.	Kleinverbr.	ergriffen	k.A.	mittel
<b>b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen</b>							
22	FuE in den Bereichen Energieforschung, Materialien, phys. und chem. Technologien, Bauforschung	FuE	Verdoppelung des jeweiligen Forschungsbudgets in den relevanten Themenfeldern der Energieanwendung, erhebliche Beschleunigung des energie-technischen Fortschritts und günstiger Kostenverhältnisse; 2000 noch nicht wirksam, aber ab 2005 als Potential um 0,5 bis 1 % Energieeinsparung zusätzlich, davon ca. 30 % Strom.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	sehr gering	3,0 bis 5,0

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

Im Fall der erneuerbaren Energiequellen und der Gebäude profitieren von diesen Teilprogrammen auch die privaten Haushalte und der Umwandlungssektor. Im Bereich Industrie wird man infolge der FuE-Förderung weitere Verbesserungen in der Feuerungstechnik, in Industrieöfen und Trockner, bei Zerkleinerungsverfahren und thermischen Trennverfahren erwarten können. Hinzu kommen Verbesserungen durch verbesserte Prozeßführung, verbesserte Fertigungsverfahren und Substitutionen von Fertigungs- und Verfahrensprozessen. Wenngleich die Wirkung der FuE-Förderung auf Energieeffizienz und Substitution zur Stromanwendung wegen mangelnder synoptischer Kenntnisse über

laufende Entwicklungen und ihre Erfahrungswahrscheinlichkeit nicht quantifizierbar ist, so muß man doch davon ausgehen, daß hier *ein wichtiger Schlüssel für langfristige CO<sub>2</sub>-Minderungserfolge* liegen dürfte.

Deshalb wurde bei der Formulierung des 4. Energieforschungsprogramms, das im Mai 1996 verabschiedet wurde, gerade unter dem Aspekt der Effizienzsteigerung bei der Energieumwandlung (Verbrennungsforschung, Kraftwerkstechnik, Brennstoffzellen und Fernwärme) sowie der rationellen Energieanwendung in Industrie, Kleinverbrauch und Gebäuden mit jährlichen Forschungsförderansätzen von rd. 90 bzw. 75 Mill. DM vorgesehen (BMBF 1996). Die Förderung der Nutzung der erneuerbaren Energien liegt außerdem bei rd. 220 Mill. DM/a sowie für Kernenergieforschung bei 190 Mill. DM/a.

Die *Programme zur Umwelttechnik, den physikalischen und chemischen Technologien und zur Materialforschung des BMBF* enthalten Elemente zur Energieforschung, auch wenn sie häufig nicht explizit als Beitrag zur rationellen Energieanwendung deklariert werden (BMBF 1996b).

- Seit 1994 verfolgt das Forschungsprogramm „Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts - Ma Tech“ für eine Zehnjahresperiode u.a. die Förderung der Energie- und Verkehrstechnik: die Entwicklung extrem belastbarer und langlebiger Werkstoffe in der Kraftwerkstechnik und im Motoren- und Turbinenbau, von Leichtbauwerkstoffen für die Verkehrsmittel sowie von Sensoren, Aktoren und Regelungssystemen oder die Entwicklung von Hochtemperatur-Supraleitern.
- Der Förderschwerpunkt der physikalischen und chemischen Technologien begünstigt den technischen Fortschritt in Bereichen wie Dünnschichttechnik, moderne Katalysatoren, Zeolithe (Speicher), Niedertemperaturplasmatechnik und Lasertechnik. Dies sind alles Entwicklungen, die letztlich in ihren verschiedenen konkreten Anwendungen den spezifischen Energiebedarf von Produktionsverfahren und Energiewandlung vermindern.

Das *Bauforschungs- und -technikprogramm des BMBau* enthält auch zwei Schwerpunktthemen - die Heizenergieeinsparung und die Ressourceneinsparung beim Bauen und Recycling von Baustoffen -, die unmittelbar energierelevante Forschung und Entwicklung beinhalten. Wenngleich dieses Forschungsprogramm auch viele andere Aspekte des Denkmalschutzes, der Bauschäden, der Baukostenreduktion und des Verkehrswege-

baus umfaßt, so geht von diesem Programm und den vorhergehend genannten Programmen eine energiesparende Wirkung aus, die bis 2005 mittlere Energieeinspar- und Emissionsreduktionspotentiale von insgesamt einigen Mill. t CO<sub>2</sub> neu eröffnet.

Zweifelsohne werden die FuE-Maßnahmen als Wegbereiter langfristig neuer Potentiale rationeller Energieverwendung deshalb unterschätzt, weil ihre Wirkung schwer quantifizierbar ist. Aber die Tatsache, daß seit mehr als 20 Jahren das in den jeweils kommenden 15 bis 20 Jahren für realisierbar gehaltene Energieeinsparpotential von ca. 20 bis 25 % konstant geblieben ist, obwohl in hohem Maße die jeweils erwarteten Energieeinsparpotentiale tatsächlich jeweils genutzt wurden, zeigt die enorme Bedeutung des technischen Fortschritts und damit die Bedeutung von FuE (vgl. Beispiele der Raumwärme, Abbildung 3, und der Stahlherstellung, Abbildung 4). Deshalb wird hier für das Jahr 2005 von einem CO<sub>2</sub>-Minderungspotential, bewirkt durch FuE des Bundes, von mindestens insgesamt 1 bis 2 Mill. t für den Bereich der Industrie und des Kleinverbrauchs ausgegangen.

Abbildung 3:

**Entwicklung des spezifischen Heizenergieverbrauchs für Mietwohnungen in Westdeutschland und von Forschungs- und Demonstrationsgebäuden**

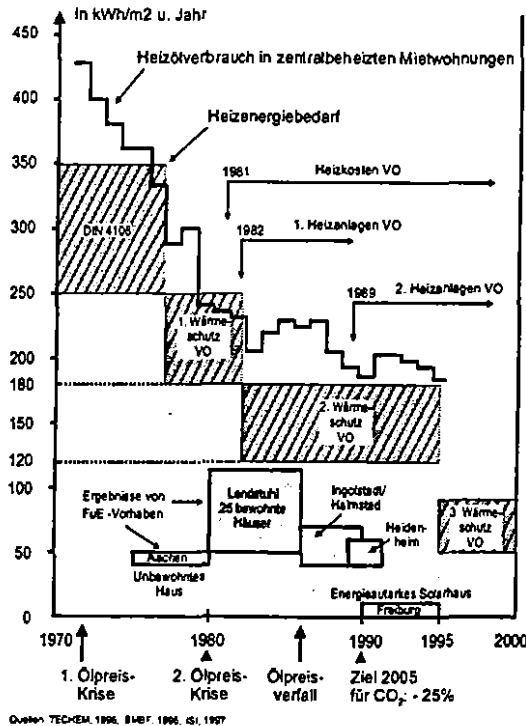
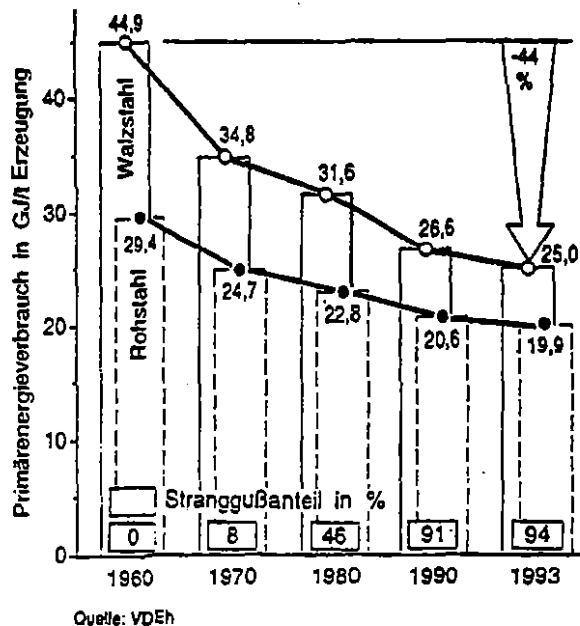


Abbildung 4:

Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs zur Stahlherstellung  
(Roheisenerzeugungslinie) in Westdeutschland von 1960 bis 1993



#### 4.2.5.2 Weitere in Betracht gezogene FuE-Maßnahmen

Je höher das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel der Bundesregierung ist, desto schneller müssen auch Forschung und Entwicklung neue und kostengünstige Lösungen anbieten, um die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten auf möglichst niedrigem Niveau zu halten. Dies bedeutet, daß die in Abschnitt II.4.2.5.1 genannten FuE-Programme mit größerer Intensität und größeren Fördervolumina durchgeführt werden mußten. Dies gilt insbesondere im Bereich der Industrieprozesse, der neuen Materialien, des Recycling energieintensiver Werkstoffe und des kostengünstigen Bauens von Passivhäusern. Es ist nicht auszuschließen, daß durch eine Verdopplung der Forschungsgelder in den genannten Bereichen der energiesparende technische Fortschritt um 0,5 bis 1,0 Prozent pro Jahr beschleunigt werden könnte. Vom Potential her wären dies etwa 3 bis 5 Mill. t CO<sub>2</sub> zusätzlich von 2005 an.

#### 4.2.6 Information, Beratung, Fortbildung

Die Maßnahmen im Bereich Information, Beratung und Fortbildung sind qualitativer Natur und weisen meist eine geringe Eingriffsintensität des Staates und einen entsprechend hohen Freiheitsspielraum der Privaten auf. Als Maßnahmen sind sie auch der eigentlichen Investitionsentscheidung oder dem veränderten Verhalten zeitlich vorgelagert. Deswegen ist es schwierig, die Wirkungen dieser Maßnahmen explizit quantitativ zu schätzen. Andererseits ist es im Grunde unsachgemäß, den direkten investitions„entscheidenden“ Instrumenten (z.B. technischen Standards, finanziellen Anreizen) jeweils den alleinigen CO<sub>2</sub>-Minderungsbeitrag zuzuordnen. Dennoch wird hier weitgehend so verfahren. Hinzu kommt, daß Maßnahmen im Bereich Information, Beratung und Fortbildung häufig das Umfeld der Akteure (z. B. bei der Fortbildung) betreffen, die letztlich die CO<sub>2</sub>-Minderung realisieren sollen, und damit nur indirekt wirken. Aufgrund dieser Kausalitäts- oder Zurechnungsprobleme wird die Wirkung dieser Maßnahmen im folgenden lediglich kategorisch geschätzt. Eine Zusammenfassung der Maßnahmen mit Kurzhinweisen auf Wirkungsweise und CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt findet sich in Tabelle 33.

##### 4.2.6.1 Informationsinstrumente

Zur Realisierung klimaschutzpolitischer Ziele kommt der besseren *Information* in den Betrieben und Gebietskörperschaften eine wesentliche Bedeutung zu. Neben der Verbesserung des schriftlich verfügbaren Materials (z.B. in Form von ständig aktualisierten Handbüchern) geht es insbesondere um Informationsangebote, die trotz Zeitmangel und Desinteresse wahrgenommen werden. Im Bereich Industrie und Kleinverbraucher sind dazu vor allem Artikel zum Thema in regelmäßig gelesenen Fachzeitschriften und Mitteilungsblättern von Verbänden, Kurzreferate auf (meist gut besuchten) Verbandstagungen oder auch Schulung des Personals vor Ort zur Durchführung einfacher organisatorischer Maßnahmen geeignet. Wichtig sind die Kürze der Information, die Höhe der erzielbaren Einsparungen und konkrete Realisierungshinweise (vgl. auch BINE-Info- und BINE-Profi-Service des BMBF-Projektes BINE; IMA-Nr. 83). Auch Praxisberichte über erfolgreich umgesetzte Maßnahmen versprechen gute Wirkungen. Diese Aktivitäten sollten in enger Kooperation mit den Verbänden und Kammern durchgeführt werden. Auch fi-

nanzielle Unterstützung von der öffentlichen Hand ist nötig; sie läßt aber wegen des hohen Multiplikatoreffektes ein sehr gutes Kosten/Nutzen-Verhältnis erwarten.

Wichtige Maßnahmen in diesem Zusammenhang sind das Labelling, die Energieverbrauchskennzeichnung und Zertifizierung. Dazu zählt beispielsweise auch die schon im „Mit Maßnahmen“ Szenario zu berücksichtigende *EG-Umwelt-Audit-Verordnung*, die seit April 1995 in Kraft ist. Die danach *zertifizierten Betriebe* verpflichten sich zu einer kontinuierlichen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes.

Tabelle 33:

**Informations-, Beratungs- und Fortbildungsmaßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mtl. t CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	
						2000	2005
a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen							
23	EG-Umwelt-Audit (EMAS)	Information, Beratung, Fortbildung	Freiwillige Zertifizierung gewerblicher Unternehmen mit Verpflichtung zu kontinuierlicher Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes. Energiespezifischer Teil legt Berücksichtigung von Energiemanagement, -einsparungen und Auswahl von Energiequellen im Rahmen der (unternehmerischen) Umweltpolitik/-programme sowie bei der Formulierung von Umweltzielen und der Evaluierung von Umsetzungsmaßnahmen fest. Zertifizierung kann Marktvorteile bringen, da sie Umweltengagement kommunizierbar macht und die gestellten Anforderungen Basis für Kosten- und Risikominderung sein können.	Industrie, z.T. Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering
24	Umweltzeichen (IMA: Nr. 88)	Information, Beratung, Fortbildung	Erweiterter Einsatz des seit 1977 bestehende Umweltzeichens (blauer Engel) auf Produkte zur rationellen Energienutzung und zur Nutzung erneuerbarer Energien	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering
25	Förderung von Energiesparberatung in KMU (IMA: Nr. 8)	Information, Beratung, Fortbildung	Zuschüsse im Rahmen des Unternehmensprogramms des Bundes in Höhe von 40% der Beratungskosten, höchstens 3.000,-DM. Die Höhe der Zuschüsse und die Vergaberichtlinien wurden inzwischen leicht modifiziert (vgl. IMA-Maßnahme Nr. 78)	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering
26	Förderung von Umweltschutz- und Energieberatung in KMU (IMA: Nr. 78)	Information, Beratung, Fortbildung	Zuschüsse im Rahmen des Unternehmensprogramms des Bundes in Höhe von 50% der Beratungskosten, max. 4.000,-DM. Vorgabe von Umsatzhöchstgrenzen für Empfänger. Laut Evaluierung (1990) bei Zielgruppen wenig bekannt; bisher niedrige und rückläufige Zahl an Beratungsfällen; relativ hohe Mitnahmeeffekte; Inanspruchnahme ist bei kleinen Betrieben geringer.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering
27	Orientierungsberatung (IMA: Nr. 79)	Information, Beratung, Fortbildung	Beratung für KMU in den jungen Bundesländern über umweltrechtliche Anforderungen. Zuschüsse in Höhe von 85% der Beratungskosten, höchstens jedoch 3.400,- DM. Das Programm endete am 31.10.1994. Maßnahme ist nicht energiespezifisch angelegt.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	sehr gering	sehr gering
28	Verbesserung Aus-/ Fortbildung von Arch., Ingenieuren, Technikern, Handwerkern (IMA: Nr. 69)	Information, Beratung, Fortbildung	Ausarbeitung von Bausteinen für die Fortbildung für die Fortbildung von Architekten, Ingenieuren und Handwerkern im REN und REG-Bereich mündete im März 1996 in der Herausgabe eines Fachbuchs durch Bund und Bundesarchitektenkammer inkl. CD-Rom mit didaktisch verwertbarem Material und in Fortbildungsunterlagen des Zentralverbandes des Deutschen Bau-gewerbes. Weitere Maßnahmen für die Diffusion des Wissens/des didakt. Materials nicht vorgesehen.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering
29	Verbesserung der beruflichen Bildung (IMA: Nr. 105)	Information, Beratung, Fortbildung	Vgl. auch IMA-Nr. 69. Angestrebte Ergänzung der Rahmenverordnung der Berufsausbildung sowie Fort- und Weiterbildung um REN- und REG-Know-How ist wenig konkretisiert und schwer identifizierbar.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	gering

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Strom einsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Strom einsparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

noch Tabelle 33:

**Informations-, Beratungs- und Fortbildungsmaßnahmen zur Reduktion der  
CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher  
bis 1996 und ab 1997**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mtl. t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen							
30	Information und Motivierung von Industrie und Kleinverbrauch	Information, Beratung, Fortbildung	Verbesserung des schriftlich verfügbaren Materials (z.B. in Form von ständig aktualisierten Handbüchern); Informationsangebote zur Steigerung des Kenntnisstandes und der Motivation, die trotz Zeitmangel und Desinteresse wahrgenommen werden, d.h. vor allem: Artikel zum Thema in regelmäßig gelesenen Fachzeitschriften und Mitteilungsblättern von Verbänden; Kurzreferate auf Verbandstagungen, Schulung des Personals vor Ort zur Durchführung einfacher organisatorischer Maßnahmen; Praxisberichte über Erfolgsbeispiele. Geeignet als Wegbereiter und Begleitmaßnahme z.B. für ordnungs- oder steuerrechtliche Maßnahmen.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	gering
31	stärkere Normierung und Forcierung des EG-Umwelt-Audit	Information, Beratung, Fortbildung	Stärkere Normierung, v.a. für Umweltmanagementsystem und Umweltziele (z.B. Forderung der Angabe von CO <sub>2</sub> -Emissionen (bzw. -Äquivalente) und -Minderungszielen). Dadurch Standardisierung und Erleichterung der Einführung von Managementsystemen, Transparenz und erhöhte Vergleichbarkeit der zertifizierten Betriebe. Steigerung der Marktchancen für zertifizierte Betriebe durch Öffentlichkeitsarbeit und Public Procurement-Programme, d.h. Forderung des Zertifikats für Lieferanten öffentlicher Einrichtungen/Verwaltungen; Ausdehnung auf nicht-gewerblichen Bereich (Handel, öffentliche Dienstleistungsunternehmen); obligatorische statt freiwillige Teilnahme.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	mittel
32	Energiekennzahlen für Gebäude	Information, Beratung, Fortbildung	Nach dem Vorbild der Schweizerischen SIA 380/4 werden genormte Berechnungsvorschriften für den Energiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden (und Wohngebäuden) v.a. auch im Altbau eingeführt. Die Nebenkosten des Gebäudes schlagen sich dadurch in seinem Werte nieder.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	gering
33	Optimiertes Beratungsangebot mit Bundes-Energie-Agentur	Information, Beratung, Fortbildung	Kostenlose Initialberatung v.a. für KMU und NBL zur Überwindung von Desinteresse und Minderung des finanziellen Risiko; Aktive Vermarktung der Beratungsleistungen; Höhere Zuschüsse für Kleinbetriebe (70 bis 80 % der Beratungskosten); Anreize/Motivierung zur Umsetzung der Beratungsergebnisse. Einrichtung einer Bundesenergieagentur mit u.a. folgenden Aufgaben: Gewährleistung der Kontinuität und Glaubwürdigkeit der Bereitstellung eines Beraterverzeichnis inklusive Qualifikationsangaben und Referenzlisten, neutrale Leistungsvergleiche von Massenprodukten der Energiesparteknik. Ziel: Beratung als Einstieg für weitere Maßnahmen (z.B. für ordnungs- oder steuerrechtliche Maßnahmen); Erreichung bisher inaktiver Betriebe.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	mittel
34	Bundesweites Impulsprogramm	Information, Beratung, Fortbildung	Impuls-Programm nach Schweizer Vorbild und aufbauend auf schon bestehenden Impulsprogrammen einzelner Bundesländer. Inhaltliche Ausarbeitung auf Bundesebene auf hohem didaktischen Niveau mit stringenter Qualitätssicherung; Vermarktung und Organisation der Durchführung auf Landerebene mit breit angelegter Kooperation, z.B. mit bestehenden Weiterbildungseinrichtungen; umfassende Abdeckung aller relevanten Zielgruppen (Baufachleute gewerkeübergreifend; Anlagenbauer, Anwender auf Nachfrageseite, Module für die Erstausbildung) und gezielte Abstimmung auf ihren Know-How-Bedarf (branchen- und technikspezifische Themen, Marketing-Know-how). Dadurch beschleunigte Diffusion praxisnahen Wissens und wechselseitige Verstärkung der Effekte durch Wissensvermehrung auf Angebots- und Nachfrageseite. Effizienzgewinne gegenüber separater Erarbeitung der Kurse auf Landerebene.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	mittel

<sup>1)</sup> Einsch. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeffizienzmaßnahmen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeffizienzmaßnahmen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromersparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromersparungen.

Klimarelevant ist vor allem der energiespezifische Teil der Verordnung. Er legt fest, daß „Energiemanagement, Energieeinsparungen und Auswahl von Energiequellen“ im Rahmen der (unternehmerischen) Umweltpolitik und -programme sowie der Umweltbetriebsprüfungen, d. h. auch bei der Formulierung von Umweltzielen und der Evaluierung von Umsetzungsmaßnahmen, berücksichtigt werden müssen. Prinzipiell erhöht die Zertifizierung die Markttransparenz und trägt damit dazu bei, daß Energieeffizienzaktivitäten einen Marktwert erhalten. Diese Wirkungsweise ist vergleichbar mit der Idee des Umweltzeichens für Produkte und des Energieverbrauchs-Kennzeichnungsgesetzes, das in seiner Wirkung mehr auf Haushalte abstellt. Weitere Marktvorteile können sich aus den an die Unternehmen gestellten Anforderungen ergeben, die Basis für Kosten- und Risikominderung sein können. Der Aufwand für die Zertifizierung wird von der Wirtschaft selbst getragen, der öffentlichen Hand entstehen durch die Maßnahme keine Kosten.

Künftiger Forschungsbedarf besteht in der Frage, inwieweit die Öko-Audit-Verordnung die rationelle Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energieträger in Unternehmen tatsächlich beschleunigt. Um eine solche Wirkung zu unterstützen, wäre für künftige Aktivitäten die Ausdehnung auf nicht-gewerbliche Bereiche (Handel, öffentliche Dienstleistungsunternehmen) und die Forcierung der bisher freiwilligen Zertifizierung gemäß Ökoaudit-Gesetz denkbar, z.B. auf dem Wege verstärkter Öffentlichkeitsarbeit und entsprechender „public procurement“-Programme, d. h. der Forderung des Zertifikats für Lieferanten öffentlicher Einrichtungen und Verwaltungen. Um der Transparenz und Vergleichbarkeit willen wären außerdem gewisse Normen nicht nur für das geforderte Umweltmanagementsystem, die bereits bei der ISO (Internationale Standards Organization) in Vorbereitung sind, sondern auch für die Formulierung der Umweltziele wünschenswert, z.B. der durchgängige Ausweis der CO<sub>2</sub>-Emissionen (bzw. -Äquivalente).

Eine weitere Maßnahme im Bereich „Labelling“ bietet sich bei Gebäuden an. Durch eine *Energiekennzahl*, die den tatsächlichen Energiebedarf eines Gebäudes angibt, werden die Nebenkosten des Gebäudes transparent und können sich in seinem (Veräußerungs-) Wert besser niederschlagen. Dadurch wird der Anreiz zu energiesparenden Maßnahmen am Gebäude verstärkt. Energiekennzahlen für Gebäude sind prinzipiell in Industrie und Kleinverbrauch ebenso anwendbar wie bei Wohngebäuden bzw. Haushaltgeräten. Der Wärmebedarfsausweis nach Wärmeschutzverordnung ist ein erster Ansatz in diese Rich-



tung. Der dort ermittelte Wert spiegelt den realen Energieverbrauch jedoch nur unzureichend wieder. Besser wäre eine Berechnung nach Vorbild der Schweizer Empfehlung SIA 380/4. Außerdem deckt die WSchVO nur den Neubau (und den nach WSchVO renovierten Altbau) ab. Essentiell wäre hingegen der Energieausweis bei bereits bestehenden Gebäuden. Entscheidend wäre dabei, auf welche Art und Weise die Gebäudeeigentümer zur Ermittlung der Energiekennzahl motiviert werden können. Ordnungspolitische Maßnahmen sind hier kaum politisch durchsetzbar, andererseits ist bei reiner Freiwilligkeit nicht mit ausreichender Beteiligung zu rechnen. Ein denkbarer Mittelweg wäre eine Verordnung, die die Ermittlung der Energiekennzahl bei Eigentümerwechsel festlegt (vgl. Kapitel II.4.2.1.2).

#### 4.2.6.2 Beratung im Bereich Industrie und Kleinverbrauch

Beratungsleistungen gehören zu den indirekt wirkenden, schwer oder gar nicht-quantifizierbaren Maßnahmen. Die Förderung der Energieberatung zielt darauf ab, Informations- und Transaktionskosten zu reduzieren, die insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oftmals prohibitiv hoch sind. Zugleich stellen Kenntnisdefizite in KMU eines der wesentlichen Hemmnisse dar, da meist keine interne Energiefachkraft verfügbar ist. Deshalb versprechen Beratungsaktivitäten bei dieser Zielgruppe eine hohe Nutzen/Kosten-Relation.

Bereits seit 1978 existiert das *Unternehmensberatungsprogramm für KMU* des BMWi. Es beinhaltet neben anderen Bereichen auch die Energieberatung. Die Förderkonditionen haben sich seit Beginn des Programms mehrfach geändert (vgl. IMA Nr. 78 und ihr Vorläufer Nr. 8). Dieses Beratungsprogramm war schon Anfang der 90er-Jahre Gegenstand einer empirischen Studie (Gruber/Brand 1990). Darin wurde festgestellt, daß die anfängliche Anzahl der Beratungen von jährlich knapp 500 Beratungen sehr stark, d. h. auf nur noch ein Drittel dieser Zahl zurückgegangen ist. Ebenfalls rückläufig war der Bekanntheitsgrad des Programms bei der Zielgruppe. 1995 wurden nur ca. 230 Energie-sparberatungen mit einem Zuschußvolumen von 640 000 DM durchgeführt. Von den Firmen, die das Programm in Anspruch genommen haben, hätten laut Befragungsergebnis zwei Drittel auch ohne die Förderung einen Berater kontaktiert, die Mitnahmeeffekte waren also hoch. Außerdem waren Bekanntheit und Inanspruchnahme des Programms

positiv mit der Größe des Unternehmens korreliert. Das deutet darauf hin, daß ein solches Programm an kleinen Unternehmen eher vorbeigeht.

Speziell für die neuen Bundesländer wurden *Orientierungsberatungen* durchgeführt (IMA Nr. 79). Der Schwerpunkt lag hier auf der Information über die Rechtslage hinsichtlich Umweltschutz. Somit war das Programm von vornherein nicht auf einen Zusatzeffekt über die rechtlichen Bestimmungen hinaus angelegt. Es ist außerdem bereits 1994 ausgelaufen. Dem erhöhten Beratungsbedarf in den neuen Bundesländern wird jetzt noch dadurch Rechnung getragen, daß der maximale Förderbetrag bei Mehrfachberatungen um 50 % über den für die alten Bundesländer geltenden Konditionen liegt.

Um das durch Beratungsaktivitäten erschließbare Potential zu nutzen, ist es entscheidend, daß die Art der Gestaltung und Umsetzung verbessert wird (Gruber/Venitz 1994). Die wichtigsten Ansatzpunkte zur Steigerung der Effektivität der Beratungsförderung bieten sich an:

1. Kostenlose kurze Initialberatung zur Überwindung des Desinteresses und zur Minderung des finanziellen Risikos (insbesondere in den neuen Bundesländern). Eine kostenlose Kurzberatung kann als Einstieg in weitere Maßnahmen erfolgversprechender Katalysator sein.
2. Verstärkung der Öffentlichkeitsarbeit insbesondere auch über Multiplikatoren.
3. Vertrauensbildende Maßnahmen zur Stärkung der Glaubwürdigkeit von Energieberatern.
4. Erhöhung der Zuschüsse für Kleinbetriebe (50 und weniger Beschäftigte) auf 70 bis 80 % der Beratungskosten.

Beratungsaktivitäten können auch eine wichtige Rolle als Wegbereiter und Begleitmaßnahmen z.B. für ordnungs- und steuerrechtliche Maßnahmen bilden. Als institutioneller Rahmen zur Bewältigung dieser Aufgaben wird eine *Bundes-Energieagentur* in Ergänzung zu den Landesagenturen empfohlen, die Koordinierungsaufgaben übernimmt. Darunter fiel u.a. die inhaltliche Gestaltung der Öffentlichkeitsarbeit und die Auswahl der Verteilernetze für die Kommunikation, die Gewährleistung der Kontinuität und Glaubwürdigkeit der Beratung, die Bereitstellung eines Beraterverzeichnis einschließlich Qualifikationsangaben und Referenzlisten sowie neutrale Leistungsvergleiche von Massenprodukten der Energiespartetechnik. Auch für Aufgaben im Zusammenhang mit einem bundesweiten Impulsprogramm kommt eine solche Institution in Betracht.

#### 4.2.6.3 Berufliche Aus- und Weiterbildung

Im bisherigen Maßnahmen-Katalog der Bundesregierung wird die beabsichtigte Anpassung der *Ausbildungsordnung* entsprechend den Anforderungen, die sich aus der Umsetzung von REN- und REG-Maßnahmen ergeben, aufgeführt (IMA: Nr. 69 und 105). Insbesondere bei Zielgruppen, deren Weiterbildungsbereitschaft z.B. aufgrund geringer Zeit- und Personalkapazität begrenzt ist, gewinnt die Wissensvermittlung in der Erstausbildung zusätzlich an Gewicht und stellt einen sehr wesentlichen und effizienten Ansatzpunkt zur Verbesserung des Know-Hows dar. Die Anpassung der Erstausbildung wurde bisher allerdings de facto nur wenig forciert, mit dem Ergebnis, daß das damit verbundene Potential kaum ausgeschöpft worden ist. Gerade im Baugewerbe mahnen Experten weiterhin starke Defizite an. Dies betrifft beispielsweise die Vermittlung der notwendigen Kenntnisse zur Installation von Wärmepumpen-, PV- und Solarkollektoranlagen an Elektriker, Installateure im Bereich Heizung, Lüftung, Klima sowie Dachdecker. Die Verbesserung der Erstausbildung darf sich aber nicht auf das Baugewerbe beschränken. Techniker, die mit Querschnittstechnologien wie Druckluft- und Kälteanlagen oder mit spezifischen Produktionsanlagen befaßt sind, sollten ebenfalls als Zielgruppe einbezogen werden.

In der *Weiterbildung* haben Bund und Bundesarchitektenkammer eine Initiative zur Ausarbeitung von Modulen für die Fortbildung von Architekten, Ingenieuren und Handwerkern ergriffen. Konkret wurde zunächst ein zweiteiliges Seminarkonzept samt Unterlagen zum Thema „Energiegerechtes Bauen und Modernisieren“ ausgearbeitet. Die entsprechenden Seminare wurden allerdings nach der Pilotphase nicht in ein regelmäßiges Weiterbildungsangebot übernommen. Vielmehr wurden die Kursunterlagen zu einem Fachbuch ausgearbeitet, das im März 1996 erschienen ist und sich hauptsächlich an Architekten richtet (Bundesarchitektenkammer 1996). Über die autodidaktische Nutzung dieser Veröffentlichung hinaus bieten die auf CD-Rom beigefügten Folien die Möglichkeit, Materialien aus dem Buch ohne großen Aufwand für Weiterbildungskurse zu nutzen. Es sind allerdings bisher keine weiteren Maßnahmen vorgesehen, die den breiten Einsatz des erarbeiteten Wissens bzw. des didaktischen Materials und seine Integration in das entsprechende Segment des beruflichen Weiterbildungsmarktes zum Ziel hätten. Damit ist

die Multiplikatorwirkung als Bildungsinstrument selbst innerhalb der Zielgruppe der Architekten und Planer stark in Frage gestellt.

Für die Zielgruppe der Handwerker wurde vom Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (ZDB) ein Weiterbildungsangebot erarbeitet. Allerdings bleiben spezielle Anforderungen, die mit der Errichtung oder Erneuerung eines Gewerbebaus oder eines öffentlichen Gebäudes verbunden sind, sowie Aspekte der Nutzung erneuerbarer Energien unberücksichtigt.

Durch die Optimierung der beruflichen Weiterbildungsinitiativen des Bundes kann deshalb ein bisher noch wenig genutztes Potential zur CO<sub>2</sub>-Reduktion herangezogen werden. Diese Aufgabe könnte ein *bundesweites „Impulsprogramm“* nach dem Vorbild der Schweiz übernehmen. Dort läuft seit 1978 eine sehr breit angelegte Aus- und Weiterbildungsinitiative, die sich zunächst mit den Themen „Energiesparendes Bauen und Haustechnik“, seit 1990 mit den drei Gebieten „Bauerneuerung“, „RAVEL“ mit Schwerpunkt auf rationeller Verwendung von Elektrizität und „PACER“ mit Schwerpunkt auf dem Einsatz regenerativer Energieträger befaßt. Vier der wichtigsten Merkmale dieser Impulsprogramme sind:

1. die hervorragende inhaltliche und didaktische Qualität der Kurse, die durch hohe Investitionen in die Kurserstellung einschließlich einer entsprechenden Qualitätssicherung und durch die Einbeziehung der entscheidenden Fachkreise erreicht wurde;
2. der integrale Ansatz der Initiative, die ein gewerkeübergreifendes, aufeinander abgestimmtes Kursangebot beinhaltet, das u.a. zum Ziel hat, die Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren, die an der Umsetzung eines Projektes beteiligt sind, zu erleichtern;
3. im Rahmen des RAVEL-Programms die Erarbeitung industriespezifischer REN-Problemlösungen in kleineren Forschungsprojekten und die anschließende didaktische Aufbereitung;
4. die Öffentlichkeitsarbeit und Marketing-Maßnahmen, bei denen alle maßgeblichen Verbände und Bildungseinrichtungen einbezogen wurden.

Das Programm, das in Evaluierungen sehr gut abgeschnitten hat, genießt auch außerhalb der Schweiz ein hohes Renommé (RAVEL 1996; Balthasar/Rieder 1996). In Ergänzung

zu dem Schweizer Konzept sind neben dem Angebot von Kursen für berufliche Zielgruppen, z. B. Planer, Handwerk und Betreiber, auch Kurse zur Weiterbildung und Motivation der Endverbraucher, z. B. Bauwillige, sinnvoll. Denn dadurch wird die Nachfrage nach der Zusatzqualifikation der Fachleute und damit der Anreiz zur Weiterbildung für Fachleute erhöht, und die Effekte verstärken sich gegenseitig. In Nordrhein-Westfalen wird dieses Konzept seit 1994 bereits umgesetzt. Durch eine Beteiligung des Bundes könnten die Ressourcen für die Kursentwicklung gebündelt und deutlich erhöht werden und so die Erschließung der Kursthemen schneller vorangetrieben werden. Außerdem wäre der gemeinsame Zugriff aller Bundesländer auf die Kurskonzepte besser gewährleistet als das jetzt der Fall ist. Gleichzeitig können dabei Synergieeffekte mit der Modifizierung der Erstausbildung genutzt werden, indem einzelne Module der Kurse zur Integration in die Erstausbildung vorgesehen werden.

Da der Weiterbildungsmarkt und auch die Zielgruppen im wesentlichen auf Landesebene organisiert sind bzw. darüber direkter ansprechbar sind, sollte die Vermarktung und Einbindung der Weiterbildungsträger auf Landesebene bleiben, ebenso wie die Ausbildung und Vermittlung von Referenten. Diese Maßnahme verursacht zwar Kosten für die Öffentliche Hand, stellt aber gegenüber der separaten Kurserstellung durch die jeweiligen Länder und der nur länderweisen Koordinierung einen deutlichen Effizienzvorteil dar. Es ist deshalb ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erwarten. Ein konkretes Konzept wurde bereits 1993 im Auftrag der Enquete-Kommission vom FhG-ISI erarbeitet. Die dafür geschätzten Kosten belaufen sich auf insgesamt 26,5 Mill. DM für drei Themenblöcke, die sich jeweils über ca. 5 Jahre erstrecken und ca. 30 Kurstypen umfassen.

#### **4.2.7 Selbstverpflichtungen der deutschen Industrie und zum Kleinverbrauch**

Selbstverpflichtungen seitens einzelner Wirtschaftsverbände oder großer Unternehmen kamen in der ersten Hälfte der 90er Jahre in mehreren OECD-Ländern bei den Versuchen zur Begrenzung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen zunehmend in die energiepolitische Diskussion und in die Praxis (Solsbery/Wiederkehr 1995; Storey 1996). Die für dieses Instrument explizit oder implizit unterstellte Hypothese ist, daß die Akteure in den einzelnen Branchen und Unternehmen in gleicher Zeit zu ähnlichen CO<sub>2</sub>-Verminderungen kommen wie Regulierungs- oder Preissteuerungsmaßnahmen des Staa-

tes, dieses Ziel aber zu geringeren Kosten erreichen. Kritiker bezweifeln die Hypothese, weil jedes Unternehmen, das bei gegebenen Rahmenbedingungen mehr CO<sub>2</sub> mindert als wirtschaftlich ist, sich relativ zu seinen Wettbewerbern in eine schlechtere Kosten- und Gewinnsituation begeben würde. Andererseits wird von Befürwortern darauf verwiesen, daß *gehemmte Potentiale rationeller Energieanwendung und der Energiesubstitution* durch bewußte Anstrengungen seitens der Verbände und ihrer Mitgliedsunternehmen wenigstens teilweise realisiert werden können oder daß man bei *vergleichbar rentablen Ersatzinvestitionen* den klimarelevanten Investitionen in Zukunft mehr Priorität einräumen könne als in der Vergangenheit (in der angelsächsischen Literatur als „no regret“-Maßnahmen bekannt). Die Bundesregierung hat diese Initiative der Wirtschaft als „einen Weg zu mehr Selbstverantwortung“ begrüßt, allerdings mit dem Vorbehalt, daß diese Initiativen auch zur Erreichung der Ziele führen müssen (Bundesregierung 1995).

#### 4.2.7.1 Selbstverpflichtungen aus den Jahren 1995 und 1996

Die Erklärungen der deutschen Wirtschaft von März 1995 und 1996 beziehen sich erstmals in Deutschland nicht auf Produkte, sondern

- im Fall der Selbstverpflichtungen der beteiligten Industrieverbände und des BDI (1996) sowie der VDEW (1996) auf die Produktionsweise und Investitionen in Produktionsanlagen sowie
- im Fall der Erklärungen des Bundesverbandes der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW 1996), des Verbandes kommunaler Unternehmen (VKU 1996) und des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV 1996) auf die Investitions- und Verhaltensweisen ihrer Kunden.

Hierdurch wird der Nachweis der Zielerreichung wesentlich schwieriger als bei bisherigen Selbstverpflichtungen von Herstellern. Das Basisjahr der Selbstverpflichtungen der Verbände vom März 1996 ist meist das Jahr 1990, das Zieljahr ist 2005. Die von der VDEW vorliegende Erklärung betrifft im wesentlichen die Anlagen der öffentlichen Stromversorgung und enthält nur unquantifizierte Zielsetzungen im Bereich der stromverbrauchenden Kundengruppen.

Im *Industriebereich* sind von drei Verbänden zugesagte absolute CO<sub>2</sub>-Minderungen von 45 bis 48 Mill. t bis 2005 zu addieren mit jenen CO<sub>2</sub>-Minderungen, über die die Verbände nur eine spezifische (auf die Produktion bezogene) Zielaussage machten. Unterstellt man für die einzelnen Produktionen gewisse Zuwächse, so ergeben sich insgesamt für diese Gruppe CO<sub>2</sub>-Minderungen um etwa 7 bis 10 Mill. t bis 2005 (vgl. Tabelle 34).

Tabelle 34:

**CO<sub>2</sub>-Emissionen der Mitgliedsunternehmen bzw. Kundengruppen der Energiewirtschaftsverbände in den Jahren 1990 und 1995 in Deutschland sowie angestrebte CO<sub>2</sub>-Minderung laut der Erklärung der deutschen Wirtschaft vom März 1996**

	CO <sub>2</sub> -Emissionen 1990		CO <sub>2</sub> -Emissionen 1995		Brutto- CO <sub>2</sub> -Minderung bis 2005 lt. Erklärung vom März 1996	verbleibende CO <sub>2</sub> - Emission 2005	Differenz gegenüber 1990
	in Mill. t <sup>1)</sup>						
	brennstoff- bedingt <sup>2)</sup>	strom- bedingt <sup>3)</sup>	brennstoff- bedingt <sup>2)</sup>	strom- bedingt <sup>3)</sup>	absolut	geschätzt <sup>4)</sup>	brennstoff- und strombedingt
Zement	9,1	2,8	8,51	2,68		0,5 - 1,0	
Kalk	2,0	0,4				0,3 - 0,4	
Ziegel	2,4	0,1				0,3 - 0,4	
Feuerfest-Industrie	1,6	0,9				0,25 - 0,3	
Eisen und Stahl	66,7	14,6			17,8 - 21,0		
Chemische Industrie	34,1	38,9	< 45,0		23,8		
Zellstoff und Papier	7,1	7,8				0,7 - 1,5	
NE-Metalle	4,3	10,9				1,5 - 2,0	
Glas	3,3	1,5				0,5 - 0,8	
Feinkeramik	2,0	1,6				0,3 - 0,4	
Textilindustrie	5,1	4,3				2,0 - 2,5	
Zucker	4,1	0,9				0,6 - 0,8	
Kali	2,2	2,5	0,94	0,30	3,68		
Industrie insgesamt	169,7	131,6	126,8	106,3	45,3 - 48,5	7,0 - 1,01	52,3 - 58,6
VDEW	269,0	-	270,0	-	27,0	-	27,0
VfK	k.A.	k.A.	-	-	-	-	-
BGW	52,4	-	-	-	47,3 <sup>5)</sup>	-	-
VKU	80,1 <sup>6)</sup>	58,0	87,7	60,0 <sup>7)</sup>	34,0 <sup>8)</sup>	-	53,5 <sup>10)</sup>
MWV	70,0	-	80,0 <sup>9)</sup>	-	-	ca. 13,0 <sup>10)</sup>	-
Deutschland (alle energiebedingten Emissionsquellen)	887,3		868,5		112,8 - 116,0 <sup>11)</sup>	20,0 - 23,1	854,5 - 848,2
							132,8 - 139,1

<sup>1)</sup> gerundet. - <sup>2)</sup> ohne brennstoffbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Eigenstromerzeugung. - <sup>3)</sup> berechnet mit spezifischen Emissionen der Brutto-  
stromerzeugung. - <sup>4)</sup> Berechnung über Produktionsschätzungen bis 2005 und erklärte Reduktionen des spezifischen Energieverbrauchs oder  
oder der spezifischer Emissionen der jeweiligen Branchen. - <sup>5)</sup> davon etwa 40 % für Industrie, etwa 60 % des Gasbedarfs für private Haushalte  
und Kleinverbraucher. - <sup>6)</sup> Einzelziel ohne Überlappungsabschläge; mit Berücksichtigung von Überlappungen durch BGW-Erklärung und  
20 % Anteil an Neubauflächen (31,5 Mill. t CO<sub>2</sub>). - <sup>7)</sup> geschätzt für 1995. - <sup>8)</sup> Einzelziel ohne Überlappungsabschläge, die allein mit dem Einzel-  
ziel des BGW ca. 25 Mill. t CO<sub>2</sub> ausmachen. - <sup>9)</sup> Zahlen ohne CO<sub>2</sub>-Änderungen im Verkehr und im Umwandlungsbereich (ohne Kraftwerke). -  
<sup>10)</sup> Heizölsubstitution durch BGW bereits berücksichtigt. - <sup>11)</sup> integrierte CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion. k.A. = keine Angaben  
Quelle: Berechnungen des IZI.

Insgesamt lassen sich somit aus der Erklärung der Industrieverbände *absolute CO<sub>2</sub>-Minderungen von 52 bis knapp 59 Mill. t* als Ziel bis 2005 ableiten. Diese Zielaussagen sind als „*Bruttowerte*“ zu verstehen, d.h., sie enthalten alle Strukturveränderungen zugunsten weniger energieintensiver Produktionen und sämtliche CO<sub>2</sub>-Reduktionsbeiträge durch dritte Akteure (z.B. der Bundes- und Landesregierungen, von Contracting-

Unternehmen und Energie-Agenturen). Hierin enthalten sind auch die indirekt durch verminderte Stromverbräuche reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Ein Blick auf die Daten für 1990 und 1995 zeigt, daß die brennstoffseitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie um 43 Mill. t CO<sub>2</sub> (25 %) zurückgingen und die stromseitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen um weitere 25 Mill. t, wenn man den Strombedarf mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der öffentlichen Stromversorgung berechnet (vgl. Tabelle 27).

Damit wären die Erklärungen der Industrieverbände *in Summa bereits Ende des Jahres 1995 als „Ziel erreicht“* zu kennzeichnen, was für einzelne Industrieverbände, gemessen an deren Einzelzielen, aber noch nicht zutreffen muß, insgesamt deshalb das Ergebnis in Zukunft noch weiter verbessern würde. An dem Ergebnis dieser Fünfjahresperiode wird auch deutlich, daß die angegebenen Bruttozielwerte der einzelnen Industriezweige in erheblichem Umfang strukturelle Veränderungen sowie Brennstoffsubstitutionen im Zusammenhang mit der Wiedervereinigung Deutschlands enthalten.

Anders verhält sich die Situation bei den *Zielgruppen der vier Energiewirtschaftsverbände*: Hier ist das Ziel unter Anrechnung aller Überschneidungen mit etwa 80 Mill. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2005 für die Zielgruppen Haushalte und Kleinverbraucher sowie Industriebetriebe in Stadtwerke-Gebieten anzusetzen (vgl. Tabelle 34). Mit Ausnahme der Stromwirtschaft, die bis 1995 bereits eine Verminderung um 19 Mill. t CO<sub>2</sub> erreichte, haben die übrigen Energiewirtschaftsverbände geringere Minderungserfolge zu verzeichnen, und zwar brennstoffseitig brutto, d.h. mit allen anderen Akteuren etwa 20 Mill. t beim *Kleinverbrauchssektor* (vgl. Tabelle 28).

Im Bereich der Kleinverbraucher gibt es bei der *Wirkungsabschätzung* erhebliche Überlappungen der CO<sub>2</sub>-Minderungsziele bei den drei Wirtschaftsverbänden BGW, VKU und MWV, weil die Verbände CO<sub>2</sub>-Minderungen bei denselben Kundengruppen erklärten (vgl. den Exkurs weiter unten). Die Überlappung ist besonders groß beim BGW und VKU bzgl. ihrer Gaskunden im Kleinverbrauchsbereich, wo der BGW eine CO<sub>2</sub>-Minderung

- von 2,7 Mill. t durch mehr Energieeffizienz und Brennstoffsubstitution zuzüglich 1,6 Mill. t durch zusätzliche Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung in den alten Bundesländern anstrebt sowie



- von 10,2 Mill. t durch mehr Energieeffizienz und insbesondere in erheblichem Umfang durch Substitution der Braunkohle durch Erdgas und 1,4 Mill. t durch zusätzliche Anwendung der KWK in den neuen Bundesländern (Winter u.a. 1995).

Insgesamt ergibt sich somit für die Gaskunden im Kleinverbrauchsbereich eine CO<sub>2</sub>-Minderung bis 2005 um etwa 16 Mill. t, die sich zu etwa drei Vierteln auch mit den Zielen des VKU für diese Kundengruppen überlagern. Hinzu kommen CO<sub>2</sub>-Minderungen der Heizölwirtschaft in Höhe von etwa 15 % der 18 bis 21 Mill. t CO<sub>2</sub>-Minderung, die der MWV für Gesamtdeutschland als Ziel für seine Kunden erklärte, d.h. rund 5 bis 5,7 Mill. t CO<sub>2</sub>. Insgesamt steht *brennstoffseitig* ein Ziel bis 2005 von etwa 22 Mill. t CO<sub>2</sub>, wovon zwischen 1990 und 1995 etwa 20 Mill. t erreicht wurden und witterungsbereinigt sogar etwa 22 Mill. t, weil das Jahr 1995 um etwa 10 % kälter war als 1990.

*Stromseitig* wird man auch noch CO<sub>2</sub>-Minderungserfolge durch die Erklärung des VKU erwarten können, die für den Kleinverbrauchssektor unter der Annahme, daß von den etwa 130 TWh Stromabgabe rund 45 % auf den Kleinverbrauch entfallen und auch bei dieser Kundengruppe ein Ziel von -25 % erreicht wird, eine CO<sub>2</sub>-Minderung von rd. 7,5 Mill. t impliziert (bei spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 140 kg je GJ<sub>el</sub>). Die Brutto-Zielsetzungen der drei Energiewirtschaftsverbände umfassen ca. 25 Mill. t für die privaten Haushalte (vgl. Kapitel II.5.1.4).

#### **4.2.7.2 Exkurs: Integrierte Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele der drei Energiewirtschaftsverbände (BGW, VKU und MWV)**

In seiner ersten Erklärung gab der *Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW)* eine absolute CO<sub>2</sub>-Minderung von insgesamt 47,3 Mill. t CO<sub>2</sub> als Differenz zwischen dem Basisjahr 1987 für die alten Bundesländer bzw. 1989 für die neuen Bundesländer und dem Jahre 2005 an. Zieht man die zwischen 1987 und 1990 erzielten CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Effizienzgewinne und Substitutionen einschließlich der Temperaturbereinigung ab, so reduziert sich die Reduktionsmenge für das Jahr 1990 um etwa 14 Mill. t auf rund 34 Mill. t. Diese Zahl entspricht auch dem häufiger genannten Zielkorridor von 30 bis 40 Mill. t, der mit dem Reduktionsziel auf Basis spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch von 0,35 kg CO<sub>2</sub> je kWh Nutzwärmeerzeugung auf 0,23 kg CO<sub>2</sub> je kWh korreliert (Biallas, 1997).

Da die Substitutionspotentiale auf der Basis heutiger CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet wurden, der *Mineralölwirtschaftsverband (MWV)* in seiner Verpflichtung aber den spezifischen Heizölbedarf um 25 % zu senken versprach, müssen die o.g. Substitutionswerte der Gaswirtschaft um diese 25 % bereinigt werden, die der Mineralölwirtschaftsverband bei konstanten Energieanteilen andernfalls erzielt hätte, d.h., anstelle von rd. 9 Mill. t für die Heizölsubstitution im Gebäudebestand der alten Bundesländer können nur rd. 6,8 Mill. t CO<sub>2</sub> veranschlagt werden, um Doppelzählungen zu vermeiden. Damit reduziert sich das bereinigte CO<sub>2</sub>-Minderungsziel des BGW auf der Basis von 1990 auf knapp 32 Mill. t.

Unterstellt man, daß sich die Unternehmen im *Verband kommunaler Unternehmen (VKU)* mit etwa 75 % Marktanteil am Gasabsatz in den Sektoren private Haushalte und Kleinverbraucher (VKU, 1997, S. 43) entsprechend der Selbstverpflichtung des VKU in gleicher Weise verhalten, so würde die Überlappung 75 % von den knapp 32 Mill. t oder rund 24 Mill. t betragen, die in den Selbstverpflichtungen beider Verbände implizit gemeinsam gemeint sind und daher nicht doppelt gezählt werden dürfen; mit anderen Worten: rd. 8 Mill. t CO<sub>2</sub>-Reduktion erzielt der BGW außerhalb der VKU-Versorgungsgebiete im Bereich private Haushalte und Kleinverbrauch mit seiner Selbstverpflichtung.

Der VKU selbst hat sich zu einer 25 %igen Reduktion derjenigen CO<sub>2</sub>-Emissionen verpflichtet, die in seinen Versorgungsgebieten mit 136 Mill. t für 1990 veranschlagt wurden, d.h., die Reduktion beträgt 34 Mill. t auf der Basis von 1990. Hiervon werden (s.o.) etwa 24 Mill. t CO<sub>2</sub> durch die Gasversorgung bei privaten Haushalten und Kleinverbrauchern erzielt. Die restlichen Minderungen verteilen sich auf Effizienzgewinne bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung, bei industriellen Gas- und Stromkunden (z.B. Contracting) sowie auf Stromeinsparprogramme für private Haushalte und Kleinverbraucher. Hierzu macht der Verband allerdings bisher keine weiteren Angaben. Diese verbleibenden 10 Mill. t CO<sub>2</sub>-Minderung verteilen sich auf rund 3 Mill. t durch vermehrten KWK-Einsatz (Steger, u.a., 1995), etwa 3 Mill. t durch zusätzliche Einsparungen bei industriellen Gas-, Fernwärme- und Stromkunden (letzteres auch bei privaten Haushalten und im Kleinverbrauch 2 Mill. t) sowie 2 Mill. t durch Verbesserung der Energieeffizienz und durch Erdgassubstitution bei den eigenen Anlagen.

Die Erklärung des MWV ist eine spezifische Aussage auf die heizölbeheizten Flächen im Wohnbereich und Kleinverbrauch. 1990 wurden in diesem Bereich etwa 72 Mill. t CO<sub>2</sub> (ohne Prozeßwärme) emittiert. Bei einer Konstanz der heizölbeheizten Flächen würde die Emissionsminderung etwa 18 Mill. t CO<sub>2</sub> betragen. Unter der Annahme eines Flächenzuwachses von 25 % von 1990 bis 2005 (für Haushalte + 30 % nach Prognos, 1995, S. 147, für Kleinverbraucher + 20 %) und eines Heizölanteiles von 20 bis 25 % an diesen Neubauflächen, so lägen die Bruttoemissionen der heizölgefeuerten Flächen bei konstanten spezifischen Heizölverbräuchen bei den privaten Haushalten und Kleinverbrauchern bei 75 bis 77 Mill. t im Jahre 2005. In diesem Wert sind durch den geringen Heizölanteil an den Neubauflächen die Substitutionsziele des BGW bereits berücksichtigt. Das Reduktionsziel, das der Mineralölwirtschaftsverband nur in der Verminderung spezifischer Heizölverbräuche angibt, wäre demnach 25 % des für 2005 ermittelten Ausgangswertes von 75 bis 77 Mill t CO<sub>2</sub>, d. h. rund 19 Mill. t. •

Insgesamt ergibt sich somit für die drei Energiewirtschaftsverbände BGW, VKU und MWV das folgende, in sich konsistente Emissionsreduktionsbild ohne Doppelzählungen:

Verband und Emittentenbereich	Insgesamt HuK	private Haushalte	Kleinver- braucher	sonstige Sektoren
• BGW- und VKU-gemeinsame Versorgungsgebiete	24	12 bis 14	10 bis 12	
• BGW außerhalb der VKU-Versorgungsgebiete im HuK-Sektor	8	4 bis 5	3 bis 4	
• VKU sonstiges - im Strombereich HuK - KWK sowie Industriekunden und eigene Anlagen	2	ca. 1	ca. 1	8 <sup>1)</sup>
• MWV in HuK-Sektor	19	11 bis 15	6 bis 7	
<b>Summe</b>	<b>53</b>	<b>28 bis 34</b>	<b>20 bis 24</b>	<b>8</b>

<sup>1)</sup> überlappt mit Selbstverpflichtungen der VDEW und der Industrieverbände zu mehr als 50 %

Die *Wirkungen der Selbstverpflichtungen* seitens der Industrie- und Energiewirtschaftsverbände auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Industrie und Kleinverbrauch sind sui generis deshalb schwer einzuschätzen, weil man die strukturellen Effekte zu weniger energieintensiven Produktionen, die ohnehin stattfindenden Effizienzverbesserungen bei Erneuerungsinvestitionen und die Effekte von Maßnahmen anderer Akteure (z.B. Kapitel II.4.2.1 bis II.4.2.5) nur teilweise separat ausweisen kann. Die auf die Selbstverpflichtungen der Industrie zurückführbaren CO<sub>2</sub>-Reduktionen als eigener Effekt sind relativ gering, weil die

Brutto-Zielsetzungen der Industrie von etwa 52 bis 59 Mill. t CO<sub>2</sub>-Reduktion durch die Entwicklung bis 1995 bereits fast erreicht wurden (vgl. Tabelle 34) und dabei die strukturellen Entwicklungen in der ost- und westdeutschen Industrie und die Braunkohlesubstitution in Ostdeutschland zwischen 1990 und 1995 einen zentralen Beitrag lieferten.

Bei den Kleinverbrauchern wird auch ein erheblicher Anteil durch die Reinvestitionen in Heizanlagen und Regelung sowie durch ordnungsrechtliche Maßnahmen (rund 4 Mill. t CO<sub>2</sub>, vgl. Kapitel II.4.2.1), durch finanzielle Anreize von Bund und Ländern sowie Beratungsleistungen und Contracting Dritter (weitere 6 Mill. t CO<sub>2</sub>) erzielt. Hinzu kommen massive Substitutionen der Braunkohle durch Erdgas und Heizöl in den neuen Bundesländern allein von 1990 bis 1995 als autonome Entwicklung (etwa 7 Mill. t CO<sub>2</sub>).

Faßt man die Entwicklung 1990 bis 1995 und die o.g. Überlegungen zusammen, so liegen die CO<sub>2</sub>-Minderungen als Ergebnis „besonderer Anstrengungen“ der betroffenen Unternehmen und Zielgruppen bei höchstens einem Viertel der Bruttoziele, d.h. bis 2005

- im Industriebereich bei höchstens 14 Mill. t CO<sub>2</sub> und
- im Kleinverbrauchssektor bei 6 Mill. t CO<sub>2</sub>

(vgl. Tabelle 35). Danach würden in der Industrie der Brennstoff- und Strombedarf auf dem heutigen Niveau bei gleicher CO<sub>2</sub>-Intensität verharren, d.h. die produktionsbedingten Zuwächse müßten durch Energieeffizienzgewinne lediglich kompensiert werden, soweit nicht strukturelle Effekte zu weniger energieintensiven Produktionen die benötigten Verminderungen ohnehin unterstützen (vgl. Prognos 1995; Esso 1996).

#### 4.2.7.3 Weitere denkbare Selbstverpflichtungen

Die bisher in Industrie und bei Kleinverbrauchern erreichten CO<sub>2</sub>-Minderungen, die weiterhin in hohem Maße vorhandenen rentablen, aber nicht realisierten Energieeinsparpotentiale („no regret“-Möglichkeiten) und die verbleibenden Substitutionspotentiale durch Erdgas und Kraft-Wärme-Kopplung legen es nahe, die *Selbstverpflichtungen der Deutschen Wirtschaft als Prozeß* zu verstehen. Es wird vorgeschlagen, die Selbstverpflichtungen im regelmäßigen Turnus anhand der Ergebnisse des Monitoring und der Erkenntnisse über rentable Energieeinsparpotentiale zu überprüfen, wobei auch strukturelle Veränderungen oder unerwartete Produktionsentwicklungen zu berücksichtigen wären.

Die Wirkung dieser *prozeßhaften Reduktionszielverbesserungen* läßt sich am ehesten durch eine Abschätzung der heute bekannten rentablen Energieeinsparpotentiale angeben. Diese belaufen sich in den weniger energieintensiven Branchen auf 10 bis 25 % und in den energieintensiven Branchen auf 5 bis 10 %. Faßt man diese Abschätzungen zusammen, so ergibt sich eine zusätzliche Reduktionsmöglichkeit von insgesamt 3 bis 7 Mill. t CO<sub>2</sub> aufgrund zusätzlicher jährlicher Effizienzgewinne auf der Brennstoffseite von 30 bis 75 PJ sowie auf der Stromseite von ca. 8 bis 18 PJ im Jahr 2005.

Tabelle 35:

**Selbstverpflichtungsmaßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mill. t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
<b>a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen</b>							
35	Erklärung der deutschen Industrie  (IMA: Nr. 110)	Selbstverpflichtungen	13 Industrieverbände und der BDI erklärten am 27. März 1996, die CO <sub>2</sub> -Emissionen von 1990 bis 2005 entweder absolut (drei Branchen um 45,3 bis 48,5 Mill. t) oder spezifisch um durchschnittlich 20 % (zehn Branchen mit einem Betrag von etwa 7 bis 10 Mill. t) zu reduzieren. Hierin enthalten sind die strukturellen Veränderungen in der Industrie und bei den Brennstoffen, Trendsparungen bei Reinvestitionen und Wirkungen von Maßnahmen Dritter. Der ureigene Effekt wird auf 25 % des Bruttozieles von 52 bis 58 Mill. t, d.h. auf 14 Mill. t CO <sub>2</sub> , geschätzt.	Industrie	ergriffen	8,0	14,0
36	Erklärungen der drei Energiewirtschaftsverbände BGW, VKU, MWV (IMA: Nr. 110)	Selbstverpflichtungen	Die drei Verbände erklärten jeweils für ihre Kundengruppe eine CO <sub>2</sub> -Minderung von 1990 - 2005 um 25 %. Die Überlappungen der Bruttoziele sind sehr hoch, ca. 18 bis 25 Mill. t integriert für den Bereich Industrie/Kleinverbraucher, aber einschl. aller Bemühungen Dritter (z.B. WschVO, Contracting) und der Brennstoffsubstitution in der Referenzentwicklung. Wegen dieser Überlappungen wird der ureigene Effekt auf 25-33 %, d.h. auf etwa 6 Mill. t CO <sub>2</sub> , geschätzt.	Kleinverbrauch	ergriffen	4,0	6,0
<b>b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen</b>							
37	Erklärung des ZVEI und VDMA zu Elektroanwendungen	Selbstverpflichtungen	Mindestjahresnutzungs- oder -wirkungsgrade von in Großserien produzierten Elektromotoren und von ihnen betriebene Komponenten (z.B. Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren). Alternative zur ElektroanwendungsVO (vgl. Maßnahme mit der laufenden Ziffer 5).	Industrie Kleinverbrauch	vorgeschlagen	0, <sup>2)</sup> 0,0	1,5 <sup>2)</sup> 0,5 <sup>2)</sup>
38	Erweiterte Erklärung des BDI und der drei Energiewirtschaftsverbände	Selbstverpflichtungen	Selbstverpflichtungen der Verbände und Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und des Bergbaus: Die Verbesserungen und Erweiterungen auf weitere Branchen im März 1996 werden in 1998 fortgesetzt und erfassen ab März 1998 alle Industriebranchen mit strikteren Zielen für 2005 und 2010. Die Zielvorgaben basieren zusätzlich auf dem Jahr 1995, um die besonderen Anstrengungen deutlich zu machen.	Industrie, Kleinverbrauch	vorgeschlagen	1,0 bis 3,0	3,0 bis 7,0
39	Erweiterte Erklärung des VIK	Selbstverpflichtungen	Selbstverpflichtung des VIK: CO <sub>2</sub> -Minderungsbeitrag durch Vereinbarung Kooperative KWK; aktivere Initiierung von Gemeinschaftskraftwerken; Verstärkung der Seminare, Energie-Audit-Leitfaden und Beratung	Industrie, Kleinverbrauch	vorgeschlagen	0,8	1,0

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Strom einsparungen. - <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Strom einsparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. - <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

Weiterhin könnte man alternativ zur ElektroanwendungsVO (vgl. Kapitel II.4.2.1) eine *freiwillige Selbstverpflichtung des ZVEI und des VDMA* diskutieren, deren Wirkungen in gleicher Höhe wie die Verordnung eingeschätzt werden (vgl. Tabelle 35). Durch eine *erweiterte Erklärung des VIK*, seine Aktivitäten für Gemeinschaftskraftwerke und Fort-

bildung noch zu intensivieren, wären weitere Reserven an CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten in Höhe von etwa 1 Mill. t CO<sub>2</sub> denkbar (Fichtner/ECH/ISI/FfE 1988).

#### 4.2.8 Sonstige Maßnahmen und Akteure

In diesem Kapitel werden einige Maßnahmen genannt, die entweder andere Gebietskörperschaften durchführen oder die als neue Aktivitäten seitens der Wirtschaft selbst große klimapolitische Auswirkungen haben könnten.

Als Maßnahmen, die bis 1996 umgesetzt oder beschlossen worden sind, seien genannt:

- das Klimabündnis europäischer Städte und I.C.L.E.I. als eine weitere parallele Initiative sowie
- der Betrieb von Energie-Agenturen in vielen Bundesländern.

Als weiteres wichtiges Instrument der Wirtschaft sei hier abschließend aufgeführt:

- die bundesweite Förderung des Energieeinspar-Contracting, das einerseits große Potentiale, andererseits auch mit Anfangsproblemen und Hemmnissen zu kämpfen hat.

##### 4.2.8.1 Ergriffene Maßnahmen

Neben Initiativen von Bundesseite sind auch Aktivitäten *anderer Gebietskörperschaften* für die Erreichung des nationalen CO<sub>2</sub>-Ziels von Bedeutung. Auf kommunaler Ebene sind insbesondere das Konzept der Brundtlandstädte, das Klima-Bündnis der europäischen Städte mit indigenen Völkern der Regenwälder und I.C.L.E.I. zu nennen (Tabelle 36).

Eines der Hauptziele des *Klima-Bündnisses* ist die Reduktion kommunaler CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energie- und Verkehrsbereich um 50% bis zum Jahr 2010 gegenüber 1987. Das Bündnis zählt in Deutschland derzeit etwas über 320 Mitglieder. Grundlage der Reduktionsbemühungen ist eine CO<sub>2</sub>-Bilanz, die alle Endenergieverbraucher (einschließlich Verkehr) umfaßt. Bilanzraum ist das Gemeindegebiet. Handlungsfelder sind entsprechend nicht nur kommunale Einrichtungen (z.B. verstärkte Wärmdämm- und Effizienzstandards in kommunalen Gebäuden und deren Ausstattung), sondern auch andere Energieverbrauchssektoren, die mit kommunalpolitischen Instrumenten beeinflusst werden können (z.B. Verkehrsplanung, Verbesserung des öffentlichen Personenverkehrs,

Beauftragung der Stadtwerke zu DMS-Maßnahmen, Förderprogramme für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien; oder im Bereich Haushalte/Wohnen: Vorgabe klimaan-gepaßter Bauweise in der Bauleitplanung). Dadurch ergeben sich große Überschneidun-gen dieser Aktivitäten mit den Selbstverpflichtungs- bzw. Klimaschutzzerklärungen des VKU, BGW, der VDEW und der Mineralölwirtschaft (vgl. Kapitel II.4.2.7).

Tabelle 36:

**Sonstige Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher bis 1996 und ab 1997**

Lfd. Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mill. t CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	
						2000	2005
<b>a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen</b>							
40	Landes- und Städteaktivitäten	verschiedene	Die Bundesländer fördern die rationelle Energienutzung durch eine Reihe von Instrumenten, insbesondere durch Information und ihre Energieagenturen, mit Blickwinkel auf kleine und mittlere Unternehmen in Gewerbe, Industrie, Handwerk und Handel. Sie haben sich z.T. auch für ihren eigenen Gebäudebestand zu Maßnahmen entschlossen (Klimastädtebündnis; I.C.L.E.I.). Erhebungen über die Wirkungen liegen kaum vor. Schätzung der CO <sub>2</sub> -Minderungen, je nach Ernsthaftigkeit der Erklärungen der Klimabündnisstädte.	Industrie, Kleinverbrauch	laufend	2,0 bis 5,0	5,0 bis 15,0
<b>b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen</b>							
41	Förderung von (Information über) Contracting  (IMA: Nr. 106)	sonstige	Förderung von Contracting im öffentlichen Sektor gemäß EU-SAVE-Richtlinie. Konkretisierungs-/Ergänzungsvorschlag: Förderung von Contracting auch in der privaten Wirtschaft; Motivationsreferate über gelungene Contracting-Vorhaben auf Verbandsveranstaltungen als Beispiele für die betreffende Branche; Demonstrations-Contracting-Modelle an öffentlichen Gebäuden; rechtliche "Experimentierklauseln"; Bezuschussung von Geschäftsfeldanalysen von Contractinggebern im Energienutzungsbereich (z.B. Gebäudesanierung). Dadurch Erweiterung des Contracting-Marktvolumens von ca. 2 Mrd. DM bis 2005 auf ca. 3 Mrd. DM.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	0,4	1,0
42	Landes- und Städteaktivitäten	verschiedene	Die Initiativen auf Bundesländerebene werden intensiviert und ausgebaut. Die übrigen Städte schließen sich dem Klimabündnis an; alle Städte verfolgen eine intensive Energieeffizienzpolitik und -soweit sinnvoll - die Substitution von Strom durch Erdgas sowie die Nutzung der erneuerbaren Energien.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	1,0 bis 2,0	5,0 bis 7,0

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Strom einsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Strom einsparungen.

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Strom einsparungen. - <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

Die Maßnahmen, die angeregt werden sollen, unterscheiden sich in vielen Fällen nicht von der Bundespolitik (am ehesten noch bei der Verkehrsplanung; Stichwort „Stadt der kurzen Wege“). Der Unterschied liegt vielmehr in den angewandten (insbesondere Planungs-) Instrumenten bzw. den angesprochenen Akteursnetzen. Wie viele Studien belegen, sind auf kommunaler Ebene initiierte Maßnahmen u.a. deshalb oft besonders wirksam, weil sie bürgernah sind und lokalen Bezug haben. Sie können die Wirkung von Aktivitäten anderer Ebenen unterstützen (z.B. wenn Förderprogramme kumuliert werden können) aber auch substitutiv wirken (z.B. Energiesparberatung durch EVU versus städtische Beratung).

Nach dem *Brundtland-Bericht* von 1987 für die UNO-Vollversammlung ist eine Reduktion des Pro-Kopf-Energieverbrauchs und damit der CO<sub>2</sub>-Emissionen notwendig, um gravierende Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialprobleme zu verhindern. „Brundtland-städte“ sind Kommunen, die die Selbstverpflichtung eingegangen sind, diese allgemein formulierten Anforderungen modellhaft umzusetzen. Wie dies geschieht, ist von der jeweiligen Kommune zu entwickeln. Es sollen dabei Maßnahmen getroffen werden, die im Prinzip auf andere Kommunen übertragbar sind und vor allem organisatorische, strukturelle und soziale Veränderungsprozesse anregen, so daß über das veränderte Bewußtsein Eigeninitiativen zur Verfolgung des Ziels in allen Bevölkerungsgruppen, Betrieben und Institutionen entwickelt werden. Handlungsfelder sind deshalb weniger der Energieverbrauch kommunaler Einrichtungen, sondern möglichst vieler in der Kommune ansässiger Akteure. Neben kommunalpolitischen Instrumenten kommen in vielen Fällen auch private Initiativen zum Einsatz. Gemeinsam ist den Aktivitäten der räumliche bzw. personale Bezug auf die Gemeinde.

*I.C.L.E.I. (International Council for Local Environmental Initiatives)* versteht sich als die internationale Umweltagentur der Gemeinden. Die Initiative wurde 1990 gegründet und umfaßt derzeit 240 Kommunen weltweit. Im Jahr 1993 startete I.C.L.E.I. eine Kampagne „Städte für den Klimaschutz“. Unter den 163 Teilnehmern an dieser Kampagne sind 17 deutsche Städte vertreten. Der Teilnehmerkreis soll so ausgeweitet werden, daß 10 % der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen mit der Kampagne erfaßt werden und die örtlichen Reduzierungen damit eine meßbare Auswirkung auf das globale Klima haben.

Die teilnehmenden Kommunen bzw. kommunalen Spitzenverbände verpflichten sich im wesentlichen, einen Aktionsplan zur Verminderung örtlicher Treibhausgase zu verwirklichen, zunächst innerhalb der kommunalen Einrichtungen und Fuhrparks, dann in anderen Verbrauchssektoren der Kommune. Der Aktionsplan umfaßt die Erarbeitung eines örtlichen Energieprofils, die Entwicklung eines Zukunftsszenarios, die Bestimmung von Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung, die Festschreibung eines CO<sub>2</sub>-Minderungsziels sowie die Entwicklung von Strategien zur Umsetzung der Minderungsmaßnahmen. Desweiteren werden die Förderung erneuerbarer Energien und Initiativen zur Änderung des Bewußtseins und des Verhaltens der Öffentlichkeit in Bezug auf den Energieverbrauch explizit im Pflichtenkatalog aufgeführt. I.C.L.E.I. unterstützt die Kommunen, indem u.a.



entsprechende Strategien modellhaft ausgearbeitet und verbreitet, die Zusammenarbeit zwischen Städten koordiniert und Lernprozesse angestoßen werden.

Auf *Länderebene* sind insbesondere folgende Handlungsfelder bzw. Politikinstrumente zu nennen:

- Die Finanzierung bzw. Einrichtung von *Länder-Energieagenturen* in derzeit 12 Bundesländern mit den Schwerpunkten: Initialberatung, Information/Fortbildung und Contracting sowie Demonstrationsprojekte zur rationellen Energieanwendung und zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen.
- *Aus- und Weiterbildungsinitiativen*, wie z.B. die Impulsprogramme in NRW und neuerdings auch in Hessen. Interessenbekundungen für eine Übernahme des Impulsprogramms liegen praktisch aus allen Bundesländern vor.
- Förderung der *erneuerbaren Energien* durch Investitionszuschüsse: Das *finanzielle Fördervolumen* aller Bundesländer zusammengenommen lag einer Umfrage des ISI zufolge in den Jahren 1994 und 1995 ca. um den Faktor 10 über dem Fördervolumen des Bundes.

Die Wirkungen dieser Aktivitäten seitens der Gemeinden und Bundesländer werden heute als wichtig eingeschätzt, wenngleich zu wenige empirische Fallstudien vorliegen, um eine Hochschätzung für die Bundesrepublik machen zu können. Trotz der Unsicherheiten der quantitativen Wirkung dieser Maßnahmen wird sie als bedeutend eingeschätzt und hier - wegen der großen Unsicherheiten - mit in einer Bandbreite von 5 bis 15 Mill. t CO<sub>2</sub>-Reduktionsminderung im Jahre 2005 angenommen.

#### 4.2.8.2 In Betracht gezogene Maßnahmen

Die Bundesregierung könnte *Drittfinanzierungsmodelle im Sinne von Contracting und Betreibergesellschaften* (E&M 1995; Shirley/Hansen 1993) fördern. Diese Finanzierungsform ist erfahrungsgemäß sowohl für den Bereich Industrie wie auch für den Bereich Kleinverbrauch denkbar. Die Wirkungen des Contracting lassen sich allerdings nur unter bestimmten Annahmen quantifizieren.

Ohne Zweifel erschließt das Contracting ein gehemmtes Potential der CO<sub>2</sub>-Minderung. Die Hemmnisse sind fehlende Kenntnisse, falsche Anwendung von Risiko- und Rentabilitätskalkülen, mangelndes Kapital oder andere Investitionsprioritäten. Andererseits schließen die Contractoren auch mit solchen Betrieben oder Gebietskörperschaften ihren Dienstleistungsvertrag ab, die die Investition notfalls auch selbst durchgeführt hätten. Eine aktuelle Erhebung zu den Energiedienstleistungsmärkten in Deutschland kam zu einer Volumenschätzung von derzeit rund 1 Mrd. DM/a (Bradke u.a. 1996). Dieser Markt könnte sich binnen 10 Jahren etwa verdoppeln, aber günstigenfalls auch verdreifachen. Diese zusätzliche Mrd. DM Umsatz im Contracting wäre u.U. durch eine vielfältige Förderung, wie sie in Tabelle 36 aufgeführt ist, mobilisierbar. Unterstellt man zur ganz groben Abschätzung eine durchschnittliche Amortisationszeit dieser zusätzlichen 1 Mrd. DM von 6 Jahren und drei Viertel bewirkte Brennstoffeinsparungen sowie ein Viertel Stromeinsparungen, so entspricht dies in etwa einer CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung um 1 Mill. t CO<sub>2</sub> bis zum Jahre 2005.

Schließlich könnte sich der Kreis der Städte im Klimastädtebündnis oder I.C.L.E.I. noch erweitern, und Bundesländer und Städte könnten ihre Anstrengungen in der Energie- und Klimapolitik noch verstärken. Insbesondere im Kleinverbrauchsbereich werden hier noch erschließbare CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale gesehen. Insgesamt werden 5 bis 7 Mill. t CO<sub>2</sub> als zusätzliche Minderungen in Industrie und Kleinverbrauch für möglich gehalten, die sich allerdings mit den Wirkungen zusätzlicher Selbstverpflichtungen (vgl. Tabelle 35) überschneiden.

#### 4.3 Nichtenergiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

Nichtenergiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen im Unterschied zu den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht durch die Verbrennung von Energieträgern, sondern durch andere chemische Prozesse bei der Herstellung von Produkten. Die folgenden technologischen Prozesse wurden hinsichtlich der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen als besonders wichtig identifiziert:

- Zementklinkerherstellung,
- Kalkbrennen,
- Herstellung von Hüttenaluminium (Anoden-Abbrand),

- Herstellung von Glas,
- Herstellung von Kalziumkarbid,
- Herstellung von Ammoniak (Synthesegaserzeugung) sowie
- Herstellung von Soda.

Als Grundlage für die Emissionsberechnung muß der Produktionsausstoß für die genannten Produkte herangezogen werden. Diesbezüglich liegen - insbesondere für den Ostteil Deutschlands - teilweise voneinander abweichende Angaben vor. Für einige Prozesse weichen die für das IKARUS-Projekt genutzten Daten von den im UBA genutzten Produktionszahlen ab. Die Unterschiede in beiden Datenbasen führen jedoch bei der Ermittlung der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht zu signifikanten Abweichungen. Für die Berechnung der Emissionen im Basisjahr 1990 wurden daher die Produktionsstatistiken des Umweltbundesamtes zugrunde gelegt.

Nach einer jüngst veröffentlichten Analyse von Patel u.a. (1996) sind allerdings die o.g. Produktionsprozesse nur ein Teil derjenigen Prozesse, die eine derartige Analyse umfassen müßte. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Olefine- und Methanolherstellung sowie bei der thermischen Nutzung von Reaktionsrückständen der weiterverarbeitenden chemischen Industrie. Außerdem geht eine erhebliche Menge von organischen Verbindungen in das Abwasser, die in den Kläranlagen umgewandelt und freigesetzt werden. Insgesamt werden demnach die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der deutschen Petro- und Kohlechemie nach der üblichen IPCC-Berichterstattung um etwa 17 bis 19 Mill. t pro Jahr unterschätzt (vgl. Kapitel III.6).

#### 4.3.1 Ausgangslage und Referenzentwicklung

Im Jahre 1989 verursachte die Herstellung der untersuchten Produkte auf dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland Emissionen in Höhe von 31,3 Mill. t CO<sub>2</sub> (vgl. Tabelle 37). Davon entfielen 69 % auf die alten und 31 % auf die neuen Bundesländer. 1990 verringerten sich diese Emissionen um rund 12 % auf ca. 27,5 Mill. t CO<sub>2</sub>. Diese Verminderung ist ausschließlich dem wirtschaftlichen Strukturwandel in den neuen Bundesländern zuzurechnen (Verminderung um 43 %), in den alten Bundesländern stiegen die Emissionen leicht (2 %).

Tabelle 37:

**Nichtenergiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen nach verursachenden  
Produktionsprozessen in Deutschland in den Jahren 1989 und 1990<sup>1)</sup>**

	1989	1990	Veränderung 1989/1990	1989	1990
	1000 t CO <sub>2</sub>		%	Struktur in %	
Zementklinker	17728	16146	-8,9	56,6	58,7
Kalk	8019	6417	-20,0	25,6	23,3
Hüttenaluminium	973	904	-7,1	3,1	3,3
Glas	1104	1213	9,9	3,5	4,4
Kalziumkarbid	593	353	-40,5	1,9	1,3
Ammoniak <sup>2)</sup>	2026	1747	-13,8	6,5	6,3
Soda	897	736	-17,9	2,9	2,7
Summe	31340	27516	-12,2	100,0	100,0
<sup>1)</sup> Ohne energie- und prozeßbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen aus dem nichtenergetischen Verbrauch.-					
<sup>2)</sup> Nur prozeßbedingte Emissionen aus der Shiftreaktion.					
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts.					

In den Jahren von 1990 bis 1995 verringerten sich die nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in den neuen Bundesländern abermals um knapp 43 %, während sie in den alten Bundesländern praktisch unverändert blieben. In Deutschland insgesamt gingen die Emissionen in dieser Periode um reichlich 8 % auf etwa 25,2 Mill. t zurück. Hinsichtlich des Gewichtes der unterschiedlichen Prozesse ergibt sich für die Jahre 1989/1990 das folgende Bild:

- Fast drei Fünftel der Emissionen wurden durch die Herstellung von Zementklinker verursacht.
- Auf die Kalkproduktion (Kalkbrennen) entfiel rund ein Viertel der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Bei der Ammoniak-Synthese wurden 6 bis 7 % emittiert.
- Die Verursacheranteile der anderen vier Prozesse reichten von etwa 1 bis 4 %.

Für die Abschätzung der weiteren Entwicklung der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden vorliegende Produktionsschätzungen (meist aus der IKARUS-Datenbank) mit *spezifischen Emissionsfaktoren* multipliziert (vgl. dazu Tabelle 38), die in einem ersten Schritt aus stöchiometrischen Berechnungen abgeleitet und dann auf der Grundlage von technologiespezifischen Überlegungen korrigiert wurden. Bei den

Schätzwerten zur *Entwicklung des Produktionsvolumens* für die Jahre 2005 und 2020 wurde nach alten und neuen Bundesländern differenziert (vgl. Tabelle 39).

Tabelle 38:

**Emissionsfaktoren für nichtverbrennungsbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Prozeß	Emissionsfaktor t CO <sub>2</sub> /t Produkt
Ammoniaksynthese <sup>1)</sup>	0,690
Kalziumkarbid	0,430
Glas	0,200
Hüttenaluminium	1,222
Kalk	0,760
Soda, ber. auf Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,380
Zementklinker	0,565
<sup>1)</sup> Synthese NH <sub>3</sub> ber. auf N	
Quelle: Öko-Institut.	

Tabelle 39:

**Produktionsentwicklung für ausgewählte Güter  
in den alten und neuen Bundesländern (1990 = 100)**

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer			
	1989	1990	2005	2020	1989	1990	2005	2020
Zementklinker	96	100	88	79	165	100	107	107
Kalk	102	100	94	87	227	100	58	53
Hüttenaluminium	103	100	56	28	270	100	0	0
Glas	90	100	134	147	109	100	185	185
Kalziumkarbid	118	100	47	26	187	100	0	0
Ammoniak	104	100	126	114	140	100	23	15
Soda	100	100	69	59	184	100	100	89
Quellen: IKARUS-Datenbank, 1996; ISI, 1996; Berechnungen des Öko-Instituts, 1996.								

Bezogen auf die einzelnen Prozesse ergibt sich folgendes Bild: Die Produktion von Hüttenaluminium wird deutlich reduziert; in den alten Bundesländern geht sie von 1990 bis 2005 um 44 % zurück. In den neuen Bundesländern wurde die Produktion von Hüttenaluminium bereits vollständig eingestellt. Ähnliches gilt für die Produktion von Kalziumkarbid: deutlicher Produktionsrückgang in den alten Bundesländern (-53 %), vollständige Produktionseinstellung in den neuen Bundesländern. Lediglich beim Glas zeigt sich eine andere Situation: Sowohl in den alten als auch den neuen Bundesländern ist eine Steigerung der Produktion zu erwarten, die in ihrem Ausmaß aber überschätzt sein könnte.

### 4.3.2 Beschreibung der untersuchten Maßnahmen und Wirkungsabschätzung für prozeßbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

#### 4.3.2.1 Ergriffene Maßnahmen

Die bisher beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen des CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramms berücksichtigen die nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen nur am Rande. Daher lassen sich natürlich die entsprechenden Emissionsminderungseffekte nur auf wenigen Feldern ermitteln.

Eine direkte Wirkung auf die Emissionen von nichtenergiebedingtem Kohlendioxid kann nur für die auf ein verstärktes Stoffrecycling orientierten Instrumente abgeschätzt werden. Auch kann eine solche Wirkungsschätzung oft nur im Bündel verschiedener Maßnahmen erfolgen. In einem solchen Verbund entfalten bis zum Jahr 2005 das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sowie die Verpackungsverordnung ihre Wirkung (IMA-Liste Nr. 65 und 68). Beide Verordnungen wirken bezüglich nichtenergiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen vor allem über ein verstärktes Recycling von Glas und Aluminium.

Der damit induzierte sinkende Bedarf an *Hüttenaluminium* wird indes durch die Tendenz überlagert, daß die Aluminiumverhüttung aus verschiedenen Gründen ins Ausland verlagert wird und Fertigprodukte oder Halbzeuge aus Aluminium importiert werden. Aus diesem Grunde kann die Wirkung der genannten politischen Instrumente bzgl. Aluminium *nicht* quantifiziert werden.

Aus den Daten zur mittleren Zusammensetzung von *Gläsern* lassen sich die zu erwartenden, nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen errechnen, wenn unterstellt wird, daß Barium-, Calcium-, Kalium-, Magnesium- und Natriumoxid aus den entsprechenden Carbonaten gewonnen werden. Aus den sich so ergebenden sortenspezifischen Emissionsfaktoren und den Anteilen des Recyclings können die Emissionsminderungen errechnet werden. Der für das Jahr 2005 quantifizierbare Effekt durch erhöhtes Glasrecycling beträgt so etwa 170 000 t CO<sub>2</sub>.

Um diesen Betrag würden sich im Jahre 2005 das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ sowie das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ unterscheiden. In beiden Szenarien würde es jedenfalls zu einem Rückgang der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen; im „Mit-Maß-

nahmen-Szenario“ wären sie im Jahre 2005 um etwa 2,2 Mill. t oder um 8% niedriger als 1990 (vgl. Tabelle 40).

Tabelle 40:

**Entwicklung der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ in Deutschland bis 2005**

	1990	2005	2020
	Mill. t CO <sub>2</sub>		
Zementklinker	16,15	14,87	13,77
Kalk	6,42	6,42	5,63
Hüttenaluminium	0,90	0,48	0,24
Glas	1,21	1,57	1,67
Kalziumkarbid	0,35	0,05	0,03
Ammoniak	1,75	1,34	1,17
Soda	0,74	0,57	0,49
Summe	27,52	25,29	22,99
<i>nachrichtlich: Ohne-Maßnahmen-Szenario</i>			
Summe	27,52	25,46	23,17
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts 1996.			

#### 4.3.2.2 Weitere Maßnahmen

Die bei der Verhüttung von *Aluminium* entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen könnten durch folgende Instrumente vermindert werden:

- Durch ordnungsrechtliche Instrumente könnte der Einsatz von Aluminium in denjenigen Bereichen, in denen andere Materialien verfügbar sind und ggf. bessere ökologische Eigenschaften haben (z.B. Fensterrahmen) oder Aluminium nicht zu Aluminiumprodukten recycelt werden kann (z.B. bestimmte Verpackungen), untersagt werden.
- Durch entsprechende Fassung von Vergabe- und Förderungsrichtlinien kann der Einsatz von Aluminium in Bereichen, in denen Ersatzmaterialien verfügbar sind, reduziert werden. Zu denken ist hierbei vor allem an den Baubereich und ggf. an Verpackungen.

Zur Reduktion der Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von *Ammoniak* stehen verschiedene Instrumente zur Verfügung:

- Am naheliegendsten ist die Erhebung einer Abgabe auf die Vermarktung oder Verwendung stickstoffhaltiger Düngemittel (z.B. 0,10 DM pro kg N). Der Erlös der Abgabe könnte z.B. zur Förderung von Gewässer- oder Bodensanierungsmaßnahmen, zur Förderung des Einsatzes natürlicher Düngemittel genutzt werden.

- Das schon derzeit eingesetzte Spektrum der Instrumente könnte zur Regulierung des landwirtschaftlichen Marktes im Hinblick auf eine Reduzierung des Einsatzes von stickstoffhaltigen Düngemitteln optimiert werden. Zu denken ist hierbei vor allem an eine Intensivierung der Flächenstillegungs- und Extensivierungsmaßnahmen der Europäischen Union.
- Der Einsatz eines ordnungsrechtlichen Verbotes - in Form eines Herstellungs-, Vermarktungs- und Anwendungsverbotes für Ammoniak und daraus hergestellter Stoffe - auf der Grundlage des Chemiekaliengesetzes kommt kaum in Betracht. Zu prüfen ist aber die Möglichkeit einer weiteren Ausweisung von Schutzgebieten nach Wasser- und Naturschutzrecht, die neben einer Entlastung des Bodens und der Gewässer von Stickstoffeinträgen zu einer Verringerung der Herstellung von stickstoffhaltigen Düngemitteln führen können.
- Die Bundes- und Landesregierungen sind nicht unwesentliche Kunden für Nahrungsmittel und andere landwirtschaftliche Produkte. Nicht nur aus Gründen der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Herstellung von Ammoniak wäre zu prüfen, ob bei den entsprechenden Ankäufen nicht stärker auf ökologische Kriterien zurückgegriffen werden könnte. Bei Einführung dieser Praxis als Regelfall würden sicher entscheidende Impulse für die Landwirtschaft ausgelöst.

Da für keines der bis hier aufgeführten Instrumente ein konkretes Design vorliegt bzw. diskutiert wird, kann im Rahmen dieses Projektes keine Quantifizierung vorgenommen werden.

Für die Verminderung von nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der *Zementproduktion* könnten die folgenden Instrumente Anwendung finden:

- Von Seiten der Zementhersteller wird ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Einführung einer CO<sub>2</sub>-Abgabe und dem Einsatz von anderen Zementen als Portlandzementen gesehen. Die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Abgabe könnte den Absatz der Zemente mit niedrigeren Emissionsfaktoren als Portlandzemente fördern (d.h. höhere Anteile von Hochofenschlacke und geringerer Anteile von Klinker).
- Die Einführung einer Deponieabgabe könnte dazu führen, daß bei der Herstellung von Hochofenschlacke verstärkt darauf geachtet wird, daß diese verwertbar ist. Ebenfalls könnte der Umfang der Rückführung von Abbruchbeton verbessert werden.
- Zementwerke sind nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftige Anlagen. Eine Emission ist jede Veränderung der natürlichen Zusammensetzung



der Luft, also auch eine Abgabe von CO<sub>2</sub>. Gleichwohl beinhalten die Genehmigungen für Zementwerke keinen CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwert. Damit stellt sich die Frage, ob ein entsprechender CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwert nach dem Stand der Technik nicht im Rahmen der anstehenden Novellierung der ersten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz aufgenommen werden könnte.

- Im Rahmen von Bauaufträgen des Bundes und der Länder sowie bei den von diesen bezuschußten Bauvorhaben dürfte jährlich eine nicht unerhebliche Menge an Zement verbraucht werden. Durch Ausarbeitung und Anwendung entsprechender technischer Baurichtlinien für die Auftragsvergabe oder Bedingungen an Zuschüsse, könnte wesentliche Impulse für die Verbreiterung des Einsatzes von Zementen mit günstigen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren gegeben werden.

Eine grobe Quantifizierung eines Maßnahmenbündels zur Substitution von Portlandzementen kann über Abschätzungen dieser Substitutionen vorgenommen werden.<sup>24</sup>

Für die Verminderung der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der *Glasherstellung* werden die folgenden Instrumente vorgeschlagen:

- Der Einsatz ökonomischer Instrumente wurde bislang im wesentlichen in bezug auf den Anteil von Einweggebinden bei Getränkeverpackungen diskutiert. Auch wenn diese Frage bislang mehr aus abfallpolitischer Sichtweise erörtert wurde (Verknappung des Deponieraums), sprechen auch die möglichen Wirkungen mit Blick auf die Reduktion der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die umfassende Einführung eines derartigen Instrumentes. Denkbar ist aber auch eine Ausweitung der Abgabe auf Einweggebinde außerhalb des Bereichs der Getränkeverpackungen. So könnten z.B. Haushaltschemikalien- und Laborchemikalienflaschen ebenfalls in eine entsprechende Abgabenregelung einbezogen werden.
- Eine Verbesserung der Wiederverwendung von Glas kann durch die Verbesserung der Verpackungsverordnung und den Erlass weiterer Verordnungen (z.B. der Altauto-Verordnung) bewirkt werden. Eine Emissionsminderung ist aber nur dann zu erreichen, wenn ein Ziel für die Wiederverwendung des zurückgewonnenen Altglases vorgegeben wird und nicht die Wahl zwischen Wiederverwendung und Weiterverwendung offen bleibt. Besondere Beachtung wäre hier dem Baubereich zu schenken, damit nicht nur die propagierte Erfassung von Fensterrahmenmaterialien durchgeführt

<sup>24</sup> Vgl. hierzu die ausführlicheren Darstellungen im Endbericht zum Teilvorhaben 3 (FhG-Isi, Öko-Institut 1997).

wird, sondern gleichzeitig auch eine Erfassung des anfallenden Glases, die eine Wiederverwendung in der Flachglasindustrie erlaubt. Hierbei ist der sich verstärkende Trend zur Fassadenverglasung zu berücksichtigen.

- In Deutschland sind verschiedene Anlagen zum Recycling von Flachglas in Betrieb. Entsprechend dem Produktspektrum dieser Anlagen könnten Anforderungen in den technischen Wohnungsbaurichtlinien definiert werden, nach denen die Produkte dieser Recyclingbetriebe im öffentlich geförderten Bau bevorzugt verwendet werden.

Die Wirkungen dieses Maßnahmenpaketes können mit Hilfe einer Modellrechnung quantifiziert werden, die die für die unterschiedlichen Verwendungsarten jeweils veränderten Recyclingquoten reflektiert.<sup>25</sup> Im Ergebnis würden die nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ im Jahre 2005 um 5,9 Mill. t oder um reichlich ein Fünftel niedriger ausfallen als 1990 (vgl. Tabelle 41). Gegenüber den Emissionen im Jahre 2005 im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ beträgt die Reduktion 3,7 Mill. t oder knapp 15 %.

Tabelle 41:

**Entwicklung der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ in Deutschland bis 2005**

	1990	2005	2020
	Mill. t CO <sub>2</sub>		
Zementklinker	16,15	11,56	10,62
Kalk	6,42	6,42	5,63
Hüttenaluminium	0,90	0,48	0,24
Glas	1,21	1,20	1,28
Kalziumkarbid	0,35	0,05	0,03
Ammoniak	1,75	1,34	1,17
Soda	0,74	0,57	0,49
Summe	27,52	21,61	19,45

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts 1996.

#### 4.3.3 Zusammenfassung

Der quantifizierbare Effekt der bisher ergriffenen - abfallpolitischen - Instrumente durch erhöhtes Glasrecycling auf die gesamten nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt - bezogen auf das Jahr 2005 - etwa 170 000 t CO<sub>2</sub>. Mit den weiter vorgeschlagenen In-

<sup>25</sup> Diese Modellrechnung ist detaillierter im Endbericht zum Teilvorhaben 3 dargestellt.

strumenten könnten bis 2005 auf dem hier diskutierten Sektor summarische Emissionsminderungen von ca. 4 Mill. t CO<sub>2</sub> erreicht werden, wobei die Emissionsminderungen durch eine veränderte Struktur des Zementinsatzes mit 3,3 Mill. t den überwiegenden Beitrag leisten. Die Emissionsminderung durch zusätzliches Glasrecycling beträgt etwa 0,4 Mill. t CO<sub>2</sub> (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 42:

**Maßnahmen zur Reduktion der nichtenergiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen  
und ihre Wirkungen**

IMA-Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsbereich der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in Mill. t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
<b>a) bis 1996 ergriffene Maßnahmen</b>							
65 und 68	Verpackungsverordnung Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	Ordnungsrecht	Verstärktes Recycling	alle Sektoren	ergriffen	0,05	0,17
<b>b) weitere in Betracht gezogene Maßnahmen</b>							
	Verbesserung von Recycling und Zementproduktion	verschiedene Instrumente	Verbesserung der Recyclingmöglichkeiten und der strukturellen Änderungen bei der Zementproduktion zugunsten weniger emissionsintensiver Verfahrenslinien	Insbes. Glas- und Zementindustrie	vorgeschlagen	0,5	3,9
<b>Ergebnisse für die Szenarien Im Überblick</b>			Ohne-Maßnahmen-Szenario			26,08	25,46
			Mit-Maßnahmen-Szenario			26,03	25,29
			Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario			25,53	21,61
Quelle: Berechnungen des Öko-Institut 1996							

#### 4.4 Maßnahmenbündel für Industrie und Kleinverbraucher (inkl. KWK)

Die in vorstehenden Kapiteln skizzierten Maßnahmen sind enumerativ dargestellt worden; ihre CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkungen wurden nur partialanalytisch ermittelt. Es fehlen

- die Auswahl geeigneter und kompatibler Optionen zu einem geeigneten Maßnahmenbündel, um den bestehenden Hemmnisbündeln zu entsprechen,
- die aggregierte CO<sub>2</sub>-Minderung eines derartigen Maßnahmenbündels, das die bestehenden Überlappungen von Maßnahmen mitberücksichtigt, und
- die Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Minderungen sowohl nach den brennstoffseitigen und strombedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch nach den beiden Sektoren (Industrie und Kleinverbraucher).

Die *Maßnahmenauswahl für ein Bündel* erfolgte einmal unter dem Gesichtspunkt, welche Maßnahmen auf die besonders kostengünstigen CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten zielen, die vom IKARUS-Optimierungsmodell ermittelt worden waren (vgl. Kapitel III.2). Zum anderen wurden die Maßnahmen nach ihrer derzeitigen politischen Akzeptanz (Einschätzung der Autoren) ausgewählt, ordnungspolitische Maßnahmen wurden daher nur in Fällen von offensichtlichen Vorteilen (z.B. technische Standards bei Massenprodukten) anderen Instrumenten vorgezogen.

Bei der *Aggregation der CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkung* eines Maßnahmenbündels waren bestehende Überlappungen der Wirkungspotentiale oder technische Sachverhalte zu berücksichtigen. Um die „No-Regret-Investitionen“ konkurrieren z.B. die Selbstverpflichtungen der Industrie und des VKU oder BGW, die Energie-Agenturen der meisten Bundesländer und die Contracting-Unternehmen. Wieviel die einzelnen Akteure von diesem Potential erschließen, konnte und sollte nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeiten sein. Hinzu kommen konsekutive Minderungen, so vermindert die Novellierung der WSchVO auch für den Altbau die CO<sub>2</sub>-Reduktion, die von der HeizanlagenVO und der Kleinf FeuerungsanlagenVO ausgeht. Um diese beiden Effekte zu berücksichtigen, wurden neben der jeweils maßnahmenbezogenen partiellen CO<sub>2</sub>-Minderung eine gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen geschätzt.

Die *Aufteilung der CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkung* nach brennstoff- bzw. stromseitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt anhand der Energieverbrauchsstruktur der jeweils betroffenen Investitionsbereiche in Industrie und Kleinverbrauch. Die Aufteilung nach den beiden Sektoren, soweit sie nicht von vornherein sektorbezogen berechnet wurde, orientiert sich ebenfalls an der Höhe der Energieeinsparpotentiale in den beiden Sektoren. Da diese beim Kleinverbrauchssektor etwas höher sind, fällt dort auch der relative Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Minderung im „Mit-weiteren-Maßnahmen“-Szenario höher aus.

Die Ergebnisse dieser Überlegungen und Berechnungen sind in Tabelle 43 aufgeführt, wobei zunächst die Partialbeiträge der einzelnen Maßnahmen *einschließlich der stromseitigen* CO<sub>2</sub>-Minderungen aufgeführt sind und dann das Ergebnis einer integralen Betrachtung als Maßnahmenbündel.

Tabelle 43:

**Maßnahmenbündel zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren  
Industrie und Kleinverbraucher im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“**

Maßnahmen	CO <sub>2</sub> -Reduktionsbeitrag im Jahre 2005 <sup>1)</sup> in Mill. t CO <sub>2</sub>
Novellierung der WärmeschutzVO	6,0
ElektroanwendungenVO	2,0
GebäudevermietungsVO	0,6
GrundsteuerVO	0,5
Angebot von grünem Strom	1,0 bis 1,5
neue Verbändevereinbarung BDI/VDEW/VIK/VEA	2,4 bis 3,2
verbesserte Kreditprogramme ERP, DfA, KfW	2 bis 4
gezieltes Fortbildungsprogramm	2 bis 4
Initialberatungen und Info über Energieagenturen	2 bis 4
Unterstützung zweiter Kapitalmarkt	1
Contracting-Förderung	1
verbesserte Ziele der Selbstverpflichtungen	5 bis 10
verstärkte Forschung und Entwicklung	2,5 bis 4
bewußte Beschaffungsprogramme von Großunternehmen	4 bis 5
zusätzliche Länder- und Kommunalprogramme	5 bis 7
Insgesamt unter Berücksichtigung von Alternativen, technischen Restriktionen und Überschneidungen	23 bis 32,5
<sup>1)</sup> Einschl. CO <sub>2</sub> -Minderung durch Stromeinsparungen.	

Unter den Voraussetzungen dieses Bündels würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Sektoren Industrie und Kleinverbrauch im Jahre 2005 um etwa 23 bis knapp 33 Mill. t geringer ausfallen. Die Streubreite signalisiert sowohl unterschiedliche Intensitäten und Erfolge des unterstellten Maßnahmenbündels als auch Datenunsicherheiten bei der Integration der Einzelmaßnahmen. Das Verhältnis der gewichteten Summe des Maßnahmenbündels zur Summe der Einzelwirkungen beträgt bei den Brennstoffen rund 60 % und beim Strom zwei Drittel, weil hier die Überlappungen der Maßnahmen etwas geringer sind.

Teilt man die CO<sub>2</sub>-Minderungen nach Sektoren und Energieträgern auf, so wird die größere Wirkung des Maßnahmenbündels beim Sektor Kleinverbraucher deutlich mit seinen erheblichen Energieeffizienz- und -substitutionsmöglichkeiten (vgl. Tabelle 44).

Tabelle 44:

**Aufteilung der gewichteten CO<sub>2</sub>-Minderungen des Maßnahmenbündels  
nach Sektoren und Energieträgern im Jahre 2005**

Sektoren	CO <sub>2</sub> -Minderung in Mill. t		
	brennstoffseitig	stromseitig <sup>1)</sup>	insgesamt
Industrie	6,5 bis 9,5	.	.
Kleinverbraucher	8,0 bis 10,5	.	.
Summe	14,5 bis 20,0	8,5 bis 12,5	23,0 bis 32,5
<sup>1)</sup> berechnet mit einem Faktor von 160 kg CO <sub>2</sub> /GJ <sub>el</sub> .			

Der größte Teil der Emissionsminderung ist somit auf die Reduktion des sektoralen Brennstoffverbrauchs zurückzuführen: Die brennstoffseitig bedingte Minderungswirkung macht etwa drei Fünftel der Gesamtwirkung aus.

#### 4.5 Literatur zum Kapitel 4

- Arenhövel, J., Liekmeyer, A. (1993): Kraft-Wärme-Kopplung zur Druck- und Wärmezeugung. In : Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen. Zukunftsmärkte der Technik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993 (VDI-Bericht 1019), S. 131-145.
- Balthasar, A.; Rieder, St. (1996): Praxisnutzen und wirtschaftliche Auswirkungen von RAVEL bis Ende 1995. Materialien zu RAVEL. Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.), Bern 1996.
- BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie) (1996): Aktualisierte Erklärung der Deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Dokumentation Köln 27.3.1996.
- Biallas, T.: 1. Etappe geschafft - Gaswirtschaft liegt beim Klimaschutz im Plan. Energie Spektrum 7+8/97, S.32.
- BGW (Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft) (1996): Erster Zwischenbericht zur Klimaschutzzerklärung der Deutschen Gaswirtschaft vom März 1995 bis zum Jahre 2005. Bonn Februar 1996.
- BMBF (1996): 4. Programm Energieforschung und Energietechnologie, Bonn 1996.
- BMBF (1996): Bundesbericht Forschung 1996, Bonn 1996.
- Bradke, H. u.a. (1996): Konzeption eines Institutes für Zukunftsenergiesysteme im Saarland. Karlsruhe/München 1996.
- Bundesarchitektenkammer (Hrsg.) (1996): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie, Planungs-Büro Schmitz Aachen. Basel/Berlin/Bonn 1996.
- Bundesregierung, Presse- und Informationsamt (1995): Anspruchsvolles Angebot der Wirtschaft zur Klimavorsorge. Deutsche Wirtschaft verpflichtet sich zu deutlicher CO<sub>2</sub>-Minderung. Bonn 10.3.1995.
- Deutsche Ausgleichsbank (1996): Persönliche Mitteilungen. Bonn und Berlin, 1996.
- E&M (Energie & Management) (1995): Drittfinanzierung von Energiesparvorhaben im öffentlichen Sektor: Tagungsband 17. - 18. 10. 1995, Nürnberg.
- Esso AG (1996): Energieprognose. Industrie verbraucht weniger Energie. Hamburg 1996.
- FhG-JSI (o.J.): Evaluierungsstudien zu den Impulsprogrammen von Nordrhein-Westfalen. (unveröffentlicht) o.J.
- Fichtner/ECH/ISI/Ffe (1988): Energieeffiziente Gemeinschaftslösungen bei der Wärmeversorgung in Industrie und Gewerbe. Studie im Auftrag des BMWi. Stuttgart/Heidelberg/Karlsruhe/München 1988.
- Gruber, E., Brand, M. (1990): Rationelle Energienutzung in der mittelständischen Wirtschaft. Köln, 1990.
- Gruber, E., Venitz, J. (1994): Energy Conservation in Small and Medium-sized Industry. Potentials, Barriers and Policy Instruments. Karlsruhe 1994.
- Hillebrand, B. u.a. (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien. In: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19. Essen 1996.

- IKARUS-Datenbank (1996): Beta-Version zu beziehen über Fachinformationszentrum Energie, KFK Karlsruhe; grundlegende Einführung für den Industriesektor in: Jochem, E., Bradke, H.: Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie. Monographien Forschungszentrum Jülich, Band 19, 1996.
- Jochem, E., Eichhammer, W. (1996): Voluntary Agreements as an Instrument to Substitute Regulating and Economic Instruments. Proceedings of the Conference Economics and Law of Voluntary Approaches in Environmental Policy. Venice Nov. 1996.
- Karl, H.-D. (1994): Wirksamkeit von Maßnahmen zur Energiesparberatung. ifo studien zur energiewirtschaft 11. ifo Institut für Wirtschaftsforschung. München 1994.
- KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) (1996): Persönliche Mitteilung. Frankfurt, 1996.
- MWV/IWO/gdbm (Mineralölwirtschaftsverband, Institut für wirtschaftliche Ölheizung, Gesamtverband des Deutschen Brennstoff- und Mineralölhandels) (1996): Klimaschutzzerklärung der Deutschen Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt. Hamburg 4.3.1996.
- Patel, M., Jochem, E., Marscheider-Weidemann, F., Radgen, P. (1996): Daten zur Behandlung des nichtenergetischen Verbrauchs unter Aspekten der Treibhausgasproblematik (in German). Report prepared for the German Ministry for Research and Technology (BMBF). Fraunhofer-Institute ISI, Karlsruhe, Germany, June 1996.
- Prognos AG (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahre 2010. Basel 1995.
- RAVEL (1996): RAVEL-Kompetenz: Schrittmacher für den nachhaltigen Erfolg. Publikationen, Lehrmittel, Software-Werkzeuge, Erfahrungsbericht. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1996.
- Shirley, J.; Hansen, PhD. (1993): Performance Contracting for Energy and Environmental Systems. Fairmont Press, Lilburn USA, 1993.
- Solsbery, L.; Wiederkehr, P. (1995): Voluntary Approaches for Energy-Related CO<sub>2</sub>-Abatement. The OECD Observer 196 (1995) 10/11, S. 41-45.
- Steger, U., Winter, M., Richter, G. (1995): Evaluierung freiwilliger Vereinbarungen der Gaswirtschaft zum Umwelt- und Klimaschutz, Institut für Ökologie und Unternehmensführung e.V. an der European Business School, Institut für Umweltmanagement GmbH, Oestrich-Winkel, 1995.
- Storey, M. (1996): Voluntary Agreements with Industry. OECD, Paris 1996.
- Suttor, W. (Hrsg.) (1996): Praxis Kraft-Wärme-Kopplung: Technik, Umfeld, Realisierung von KWK-Anlagen. Heidelberg: Müller, Loseblatt-Ausgabe. Stand Mai 1996.
- VDEh (Verein deutscher Eisenhüttenleute) (1996): Rationelle Energiewirtschaft und CO<sub>2</sub>-Minderung der deutschen Stahlindustrie. Erklärung zur CO<sub>2</sub>-Minderung der deutschen Stahlindustrie v. 21.3.1996, Düsseldorf 1996.
- VDEW (Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke) (1996): Erster Monitoring Bericht zur Erklärung der VDEW zum Klimaschutz. Frankfurt März 1996.
- VKU (Verband kommunaler Unternehmen e.V.) (1996): Konkretisierte Erklärung der kommunalen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Köln 6.3.1996.
- VKU (Verband kommunaler Unternehmen e.V.): Geschäftsbericht 1996/97. Köln 1997.
- Winter u.a. (1995): Evaluierung freiwilliger Vereinbarungen der Gaswirtschaft zum Umwelt- und Klimaschutz. Institut für Umweltmanagement. Oestrich-Winkel, 1995.



## 5 Maßnahmen zur Minderung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den privaten Haushalten

### 5.1 Raumwärmesektor<sup>26</sup>

#### 5.1.1 Ausgangslage und Referenzentwicklung

Die Wohnfläche im Haushaltsbereich, die Hauptdeterminante für die Energienachfrage in diesem Bereich ist, steigt in Deutschland nach den Schätzungen von Prognos von 2 800 Mill. m<sup>2</sup> im Jahre 1990 auf 3 500 Mill. m<sup>2</sup> im Jahre 2005 (vgl. Tabelle 45). Das entspricht einer Zunahme von 25 %. In den alten Bundesländern nimmt die Wohnfläche mit 28 % stärker zu, während für die neuen Bundesländer nur ein Anstieg um 11 % erwartet wird. Die gesamten brennstoffseitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Raumwärme- und Warmwasserbereitung) folgen diesem Trend bis zum Jahre 2005 nicht. Von 1990 bis 2005 fallen sie von 128,4 Mill. t auf 115,2 Mill. t. Die auf den Quadratmeter Wohnfläche im Haushaltssektor bezogene CO<sub>2</sub>-Emission sinkt von 46 kg/m<sup>2</sup> im Jahre 1990 auf 33 kg/m<sup>2</sup> im Jahre 2005. Diese erhebliche Verbesserung hat im wesentlichen folgende Gründe:

- Der Energiebedarf neuer Gebäude wird durch die novellierte Wärmeschutzverordnung, die am 1. Januar 1995 in Kraft getreten ist, um 30 % gegenüber der ersten Novelle von 1984 gesenkt. Um einen entsprechenden Anteil wird damit auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß reduziert.
- An einem Teil des alten Gebäudebestandes mit hohen spezifischen Emissionen werden von 1990 bis 2005 Renovierungen durchgeführt. Dabei werden häufig die Wärmedämmung der Gebäudehülle und die Verglasung der Fenster mit verbessert.
- Ein Teil der alten Heizkessel wird durch moderne Anlagen mit deutlich verbesserter Energieeffizienz ersetzt. Die Energieeinsparungen und damit die CO<sub>2</sub>-Einsparungen moderner Anlagen können im Vergleich zu den alten Kesseln bis zu 20 % betragen.
- Die Beheizungsstruktur wird sich bis zum Jahre 2005 erheblich ändern. So erwartet Prognos, daß der Anteil des kohlenstoffarmen Erdgases an der Raumwärmebereitstellung von 35 % im Jahre 1992 auf 45 % im Jahre 2005 steigt. Im gleichen Zeitraum sinkt der Ölanteil von 41 % auf 36 %.

<sup>26</sup> Dieses Kapitel wurde federführend von STE bearbeitet.

Dies alles reicht jedoch bei weitem nicht aus, um einen sektoradäquaten Beitrag zum CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel der Bundesregierung zu erreichen. Hierzu sind weitere erhebliche Minderungsmaßnahmen im Raumwärmebereich des Haushaltssektors notwendig.

Tabelle 45:

**Wohnflächen- und CO<sub>2</sub>-Entwicklung im Haushaltssektor in den Jahren 1990 und 1995 sowie im Prognos-Szenario bis zum Jahre 2005**

	Einheit	Ist-Werte		Prognos-Szenario		Veränderungen in %		
		1990	1995	2000	2005	1990/95	1995/05	1990/05
<b>Alte Bundesländer</b>								
Wohnfläche	Mill. m <sup>2</sup>	2351	2464	2802	3002	5	22	28
CO <sub>2</sub> -Emission <sup>1)</sup>	Mill. t	93,3	115,9	105,6	101,8	24	-12	9
CO <sub>2</sub> -Em./Wohnfläche	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	40	47	38	34	18	-28	-15
<b>Neue Bundesländer</b>								
Wohnfläche	Mill. m <sup>2</sup>	448	467	474	498	4	7	11
CO <sub>2</sub> -Emission <sup>1)</sup>	Mill. t	35,1	19,3	13,8	13,4	-45	-31	-62
CO <sub>2</sub> -Em./Wohnfläche	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	78	41	29	27	-47	-35	-66
<b>Deutschland</b>								
Wohnfläche	Mill. m <sup>2</sup>	2799	2931	3276	3500	5	19	25
CO <sub>2</sub> -Emission <sup>1)</sup>	Mill. t	128,4	135,2	119,4	115,2	5	-15	-10
CO <sub>2</sub> -Em./Wohnfläche	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	46	46	36	33	1	-29	-28

<sup>1)</sup> Der Anteil der Nicht-Raumwärme liegt im Bereich von 8,5 bis 11,5 %.

Quellen: Prognos 1995, UBA 1996, AG Energiebilanzen, Berechnungen des DIW.

### 5.1.2 Kurzbeschreibung der Maßnahmen des Bundes

In den Tabelle 46 und 47 sind die Maßnahmen skizziert worden, die auf Bundesebene mit Blick auf eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Bereichen Raumwärme- und Warmwasserbereitung entsprechend dem Ersten Nationalbericht ergriffen wurden oder noch vorgesehen sind. Die Minderungsmaßnahmen werden dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ (Tabelle 46) und dem „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ (Tabelle 47) zugeordnet. Schnittstelle für die Zuordnung ist generell das Implementierungsjahr 1996. Die Maßnahmen werden in folgende Kategorien eingeteilt:

- Ordnungsrechtliche Maßnahmen,
- Subventionen und finanzielle Anreize,
- Forschungsförderung sowie
- Information und Motivation.

Tabelle 46:

**Kurzbeschreibung der Reduktionsmaßnahmen  
für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Haushaltssektor**

IMA-Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise
29	Novellierung der WärmeschutzVO	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tral am 1.1.1995 in Kraft.</li> <li>- Bei Neubauten wird Absenkung des Heizwärmeverbrauchs um ca. 30 % erwartet.</li> <li>- Verschärfter Wärmeschutz am Gebäudebestand bei größeren Renovierungsmaßnahmen.</li> </ul>
30	Novellierung der HeizanlagenVO	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seit 1.6.1994 in Kraft.</li> <li>- Umsetzung der EG-Heizkesselrichtlinie.</li> <li>- Verschärfte Anlagenanforderungen.</li> </ul>
31	Vor-Ort-Beratung	Information (Subvention)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beratung zur rationellen Energieverwendung in Wohngebäuden.</li> <li>- Wärmeschutz, Heizungsanlagen und regenerative Energien.</li> <li>- Für Gebäude mit Baugenehmigungen vor dem 1.1.1984.</li> </ul>
32	Fördergebietsgesetz gemäß Steueränderungsgesetz 1991 und Standort-sicherungsgesetz	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei Nichtwohngebäuden und vermieteten Wohngebäuden können 50 % der Modernisierungsaufwendungen abgeschrieben werden.</li> <li>- Bei selbstgenutzten Wohngebäuden können jährlich 10 % der Modernisierungsaufwendungen (maximal 40 000 DM) abgeschrieben werden.</li> </ul>
33	KfW-Wohnraummodernisierungsprogramm in den neuen Bundesländern	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zinsvergünstigte Darlehen zur Modernisierung. Im Oktober 1990 mit 10 Mrd. DM aufgelegt, inzwischen auf 60 Mrd. DM aufgestockt.</li> </ul>
34	Gemeinschaftswerk Aufschwung Ost	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonderprogramm bis Ende 1992.</li> <li>- 20 % Zuschüsse zu Heizungsmodernisierung, Wärmedämmung und sonst. Sparmaßnahmen, 1,5 Mrd. DM.</li> </ul>
35	Förderung des sozialen Wohnungsbaus	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modernisierung und Instandhaltung können in den neuen Bundesländern aus Mitteln des sozialen Wohnungsbaus (1 Mrd. DM/a) gefördert werden.</li> <li>- Seit dem Wohnungsbauförderungsgesetz 1994 auch in den alten Bundesländern möglich.</li> </ul>
36	Experimenteller Wohnungs- und Städtebau ExWoSt-Forschungsfeld	Forschungsförderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modellvorhaben zur CO<sub>2</sub>-Minderung bei Siedlungsneubau und Erneuerung</li> </ul>
37	Investitionserleichterungs-/ Wohnbaulandgesetz	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entlastung von Zulassungs- und Genehmigungsverfahren durch Novellierung des § 8a des Bundesnaturschutzgesetzes.</li> </ul>
38	Verminderung von Investitionshemmnissen im Wohnungsbau in der ehemaligen DDR bei ungeklärten Eigentumsverhältnissen	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch die Grundmietenverordnungen sowie das Altschuldenerhilfegesetz ist die Liquidität der Wohnungsunternehmen (Genossenschaften, kommunale Gesellschaften) gestärkt worden.</li> <li>- Geringere Zurückhaltung der Wohnungsunternehmen bei der Inanspruchnahme von Fördermitteln zur Modernisierung und Instandhaltung.</li> <li>- Investitionshemmnisse wurden durch Vermögensgesetze und Vermögensgesetzänderungen abgebaut.</li> </ul>
39	Information für Bauherren, Architekten, Planer, Ingenieure, Handwerker	Information	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energiesparbuch und Modernisierungseifaden</li> <li>- Muster- Leistungsbeschreibungstexte für Instandsetzung und Modernisierung</li> </ul>
101	2. Verordnung zur Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO (1. BImSchV)	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung der höchstzulässigen Abgasverluste bei Kleinf Feuerungsanlagen an den Stand der Technik. Tral am 1.11.1996 in Kraft.</li> </ul>
103	Privilegierung der erneuerbaren Energien im Baugesetzbuch	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Bundestag hat am 23.6.1994 eine Ergänzung des Baugesetzbuches beschlossen, wonach Windkraftanlagen oder sonstige erneuerbarer Energien privilegiert werden.</li> </ul>
104	Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Bundesregierung will eine Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis zwischen den Ländern und die Beseitigung von Rechtsunsicherheiten vorantreiben.</li> </ul>
111	Förderprogramm zur Energieeinsparung bei Altbauten in den alten Bundesländern	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Förderprogramm für die Jahre 1996 bis 2000.</li> <li>- Zinsgünstige Darlehen 1996 in Höhe von 1 Mrd. DM.</li> <li>- Insgesamt sollen Investitionen von 10 Mrd. DM zur energetischen Verbesserung angestoßen werden.</li> </ul>
115	Ökozulagen bei der Wohneigentumsförderung	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ab Januar 1996 wird eine zusätzliche Niedrigenergiehauszulage sowie Zulagen für Wärmepumpen, Solarkollektoren und Wärmerückgewinnung gewährt.</li> </ul>

Tabelle 47:

**Kurzbeschreibung der Reduktionsmaßnahmen  
für das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ im Haushaltssektor**

IMA-Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise
102	Instrumente zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand	Ordnungsrecht	Die Bundesregierung prüft, ob und mit welchen Instrumenten eine Beschleunigung der Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand erreicht werden kann.
	Verschärfte WärmeschutzVO	Ordnungsrecht	Vorschlag: Verschärfung der WSchV95 für Neubauten vom Jahr 2000 an um ein Drittel
	Gebäudevermietungs- und VerkaufsVO	Ordnungsrecht	Vorschlag: Energie technisches Gutachten bei Neuvermietung bzw. Verkauf
	Grundsteuer VO	Ordnungsrecht	Vorschlag: Energiekennzahl für Gebäude sowie erhöhte Grundsteuer bei schlechten Energiekennzahlen
	Förderung des Erdgaseinsatzes	Maßnahmenbündel	Vorschlag: sektorübergreifend

### 5.1.3 Methodisches Vorgehen bei der Wirkungsanalyse

#### - Es werden nur CO<sub>2</sub>-Minderungen geschätzt

Die hier durchgeführte Wirkungsanalyse beschränkt sich auf die Schätzung der CO<sub>2</sub>-Minderung der beschlossenen und der vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen. Mögliche intersektorale Rückkoppelungen und wirtschaftliche Auswirkungen der Reduktionsmaßnahmen werden nicht untersucht. Es können deshalb keine Angaben z. B. über die Beeinflussung der Bautätigkeit, die Auswirkungen auf die Mieten oder die Arbeitsplatzentwicklung in der Bauwirtschaft gemacht werden.

Die Studie empfiehlt im Sinne eines Politik Szenarios weitere Maßnahmen, die ergriffen werden müßten, damit eine sektoradequate Reduktion bis 2005 zumindest rechnerisch erreicht werden kann. Eine Aussage darüber, ob diese Maßnahmen im politisch-wirtschaftlichen Raum bis 2005 tatsächlich umsetzbar sind, war nicht Gegenstand der Untersuchung.

#### - Anmerkungen zur Quantifizierbarkeit

Die Maßnahmen im Gebäudebereich umfassen ein breites Spektrum, das von Verordnungen, Informationen zur Einsparung, Beratung und Steuervergünstigungen bis hin zu Investitionszuschüssen reicht. Nur für einen Teil dieser Maßnahmen können die Wirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emission, d. h. die erreichbare Einsparung in Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr, quantifiziert werden. Dies ist nicht so sehr ein methodisches Problem, sondern eher eine

Frage der verfügbaren Daten. Andere Maßnahmen können dagegen gar nicht quantifiziert werden. Je geringer die politische Eingriffsintensität einer Maßnahme ist, um so größer ist der Freiheitsspielraum der privaten Haushalte und um so schwieriger sind die Wirkungen von solchen Maßnahmen zu schätzen. Aus pragmatischen Gründen werden die CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen in folgende zwei Hauptkategorien eingeteilt:

- *Nicht quantifizierbar*: Dies sind Maßnahmen, die qualitativer Natur sind, wie Öffentlichkeitsarbeit (Information, Motivation), um den Verbraucher zum Energiesparen zu bewegen. Hierzu können z. T. auch solche Maßnahmen gehören, mit denen versucht wird, rechtliche, administrative oder sonstige zielgruppenspezifische Hemmnisse abzubauen. Hier ist es schwierig oder vielleicht sogar unmöglich, den zurechenbaren Teil der Energiesparergebnisse hinreichend sicher zu ermitteln. Wegen der Vielzahl von Einflußfaktoren auf die Reaktion der Betroffenen läßt sich der Einfluß bestimmter Maßnahmen kaum isoliert herausarbeiten. In diesen Fällen ist bestenfalls eine qualitative Bewertung von Maßnahmenwirkungen durchführbar.
- *Quantifizierbar*: Hier handelt es sich um Maßnahmen, bei denen mit Hilfe von empirischen Wirkungsanalysen aus der Literatur, mit plausiblen und konsistenten Annahmen sowie sonstigen geeigneten Daten- und Informationsquellen die erzielbare CO<sub>2</sub>-Reduktion mit meist ausreichender Genauigkeit entweder modellexogen oder mit Hilfe von Modellen berechnet werden kann. Generell sind die Wirkungen solcher Maßnahmen quantifizierbar, die sich - wie bei bestimmten Verordnungen und Standards - in technischen Größen beschreiben lassen sowie Förderprogramme, die in energetischen Verbesserungen und monetären Größen ausgedrückt werden können.

- *Modellexogene Rechnungen bei den meisten Einzelmaßnahmen*

Die erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparung einer Reduktionsmaßnahme hängt von einer Vielzahl ökonomischer und technischer Einflußfaktoren ab. Aufgrund fehlender detaillierter Daten und Informationen ist es nicht immer möglich, alle Bestimmungsgrößen zu erfassen und die Berechnungen mit IKARUS-Modellen durchzuführen. Deshalb wurde für den größten Teil der Einzelmaßnahmen der pragmatische Weg der modellexogenen Überschlagsrechnung gewählt.

Für jede zu betrachtende Reduktionsmaßnahme wurden aus verschiedenen vorliegenden Quellen empirische Daten beschafft. Diese Ausgangsbasis wurde durch konsistente und fundierte Annahmen ergänzt, die im einzelnen nachvollziehbar im Anhang zu Kapitel 5.1 dokumentiert sind.

Die jeweiligen Bestimmungsgrößen für die erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparung haben eine erhebliche Variationsbreite. Aus Gründen der Vereinfachung wurden deshalb bei den Überschlagsrechnungen generell gewichtete Mittelwerte verwendet. Dabei wurde folgende Vorgehensweise zugrunde gelegt:

- Getrennte Berechnung für die alten und neuen Bundesländer (falls möglich).
- Referenzjahr ist 1990, und die CO<sub>2</sub>-Einsparungen werden für 2005 angegeben.
- Emissionen durch Heizen mit Strom werden nicht betrachtet.
- Die hier berechneten CO<sub>2</sub>-Einsparungen beziehen sich auf den Bereich Raumwärme ohne Warmwasserbereitung.
- Bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die Einsparungen durch einen Vergleich der zeitlichen Entwicklung bis 2005 *mit* Maßnahme und der Entwicklung *ohne* Maßnahme bestimmt.
- Es wurde versucht, die Maßnahmen so zu behandeln, daß die errechneten CO<sub>2</sub>-Reduktionen der Einzelmaßnahmen ohne Doppelzählungen addiert werden können. Dabei wurde unterstellt, daß die Maßnahmen im Bündel durchgeführt werden. Sofern Überschneidungen auftreten, werden diese separat ausgewiesen.
- Es werden - soweit wie möglich und soweit wie jeweils relevant - die folgenden energetischen Effekte bzw. Maßnahmen berücksichtigt:
  - \* Verbesserung der Wärmedämmung an der Gebäudehülle.
  - \* Erhöhung des Jahresnutzungsgrades der Wärmeerzeuger.
  - \* Wechsel zu kohlenstoffärmeren Brennstoffen.

Wegen der Annahmen und Vereinfachungen im Rechenprozeß können die Ergebnisse natürlich nur Schätzwerte sein (educated guess). Eine genaue Fehleranalyse ist nicht möglich.

- *Zielerreichung mit dem IKARUS-LP-Modell*

Das Reduktionsniveau im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“<sup>27</sup> ist für den Bereich der privaten Haushalte aus LP-Modellrechnungen abgeleitet. Dabei wird das Reduktionsszenario zugrunde gelegt, bei dem im Zusammenspiel aller Sektoren das von der Bundesregierung verfolgte Minderungsziel für das Jahr 2005 erreicht wird. Das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ ist hier als Zielszenario konzipiert. Bei der Berechnung werden zunächst mit dem LP-Modell kostenminimale Handlungsfelder identifiziert, die dann mit Hilfe weiterer Informationen und modellexogener Überschlagsrechnungen soweit wie möglich in Einzelmaßnahmen aufgegliedert werden.

#### 5.1.4 Erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch ergriffene Maßnahmen

Es handelt sich hier um die Maßnahmen, die in Tabelle 48 dargestellt sind. Die berechneten CO<sub>2</sub>-Einsparungen hängen von einer Reihe von Annahmen ab, die zusammen mit dem Rechengang im Anhang zu Kapitel 5.1 dokumentiert werden.

Einige Maßnahmen konnten nicht quantifiziert werden. Allerdings dürfte der weitaus größte Teil der CO<sub>2</sub>-Minderungen erfaßt worden sein. Die errechnete CO<sub>2</sub>-Minderung wird natürlich nur erreicht, wenn die den Rechnungen zugrunde liegenden Annahmen auch eintreten. Es sei auch hier noch einmal darauf hingewiesen, daß die Untersuchung der wirtschaftlichen Auswirkungen der Maßnahmen nicht Gegenstand der Studie war.

#### *Novelle der WSchV95*

Die Novellierung der WSchV wurde zum 1. Januar 1995 wirksam. Gegenüber der vorhergehenden Verordnung wird eine Heizenergieeinsparung um 30 % und somit auch eine entsprechende Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht. Darüber hinaus soll sich die neue Wärmeschutzverordnung auch auf den Altbestand auswirken, wenn weitergehende Renovierungs- und Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Da hierüber praktische keine Informationen vorliegen, wurde die Auswirkung am Altbestand bei den Rechnungen vernachlässigt. Der dadurch verursachte Fehler dürfte gering sein, da der weitaus größte Teil der CO<sub>2</sub>-Einsparung aus den Neubauten von 1995 bis 2005 resultiert.

<sup>27</sup> Zur Kategorisierung der Maßnahmen und der in dieser Untersuchung verfolgten drei Szenarien vgl. oben die Vorbemerkungen zum Teil II. (S. 34).

Tabelle 48:

**Wirkungen der CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen im Haushaltssektor  
im Jahre 2005 im „Mit-Maßnahmen-Szenario“**

Maßn. Nr.	Bezeichnung der Maßnahmen	Deutschland	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Referenz für die Einsparung	Wirkungszeitraum
		Mill. t				
29	Novelle WSchV95*	5,0	4,3	0,7	WSchV82	ab 1.1.1995
30	Novelle HeizAnlV94*	6,1	5,5	0,6	Nutzungsgrad der Altanlagen	ab 1.6.1994
31	Vor-Ort-Beratung*	0,1	0,1	-	Zustand vor Sanierung	09.91 - 12.97
32	Fördergebiets-/Standortsicherungsgesetz	keine Quantifizierung				
33	KfW Programm neue Bundesländer*	6,2	-	6,2 <sup>1)</sup>	Zustand vor Sanierung	Okt. 1990 bis 1996
34	Aufschwung Ost*	1,4	-	1,4 <sup>1)</sup>	Zustand vor Sanierung	Ende 1992
35	Sozialer Wohnungsbau*	0,7	0,5	0,2		ab 1991
36- 39	Exp. Wohnungsbau, Inv. Erleichterungen, Vermind. von Inv.-Hemmnissen, Info.	keine Quantifizierung				
101	Novellierung der KleinfeuerungsanlagenVO (1.BImSchV)*	0,7	0,5	0,2	Zustand vor der Novelle	ab Dez. 1994
103	Privilegierung regenerativer Energien	keine Quantifizierung				in Kraft
104	Vereinheitlichung Genehmigung	keine Quantifizierung				in Kraft
111	KfW-Programm alte Bundesländer*	1,9	1,9			ab Jan. 1996
115	Ökozulagen	0,4	0,3	0,1		ab Jan. 1996
	Selbstverpflichtung** (Wechsel von Öl zu Gas)	2,2	2,2	0,0	Ölheizung	1990 bis 2005
Summe	Alle Maßnahmen	24,7	15,3	9,4		

<sup>1)</sup> 0,4 Mill. t gehören zu Maßnahme 30.- <sup>2)</sup> 0,1 Mill. t gehören zu Maßnahme 30.

\*) Überschneidungen mit der Selbstverpflichtung von MVV, BGW und VKU.

\*\*) verbleibender Nettoeffekt der Selbstverpflichtungen, der nicht durch andere Maßnahmen abgedeckt ist.

Quellen: BMBau 1996, ISI et al 1993, Jochem 1996, Karl 1995, KfW 1996, Kolmetz et al 1994, STE-Berechnungen.

Der Bau von neuen Gebäuden erhöht in jedem Fall die CO<sub>2</sub>-Emission. Durch die WSchV95 kann allenfalls ein verminderter Anstieg der Emissionen in Neubaubereich erreicht werden. Die in Tabelle 48 ausgewiesene CO<sub>2</sub>-Reduktion von 5,0 Mill. t ist die Differenz aus der CO<sub>2</sub>-Emission der Neubauten entsprechend der alten WSchV82 minus der CO<sub>2</sub>-Emission bei Anwendung der neuen WSchV 95. Diese Differenz beziffert insofern die CO<sub>2</sub>-mindernden Wirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung.



### *Novelle der HeizAnV*

Die Novelle gilt seit Juni 1994 für heizungstechnische Anlagen sowie für Brauchwarmwasser erzeugende Einrichtungen mit einer Nennwärmeleistung von 4 kW und mehr, wenn sie in Gebäuden neu errichtet werden oder errichtet sind und ersetzt, erweitert, umgerüstet oder nachgerüstet werden. Durch erhöhte Anforderungen an neue Heizungs- und Warmwasseranlagen soll die CO<sub>2</sub>-Emission deutlich verringert werden.

Bei der Berechnung wurde unterstellt, daß von Juni 1994 bis 2005 in den alten Bundesländern knapp die Hälfte (45 %) der vorhandenen Heizungsanlagen erneuert wird. Dies erscheint bei einer mittleren technischen Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren plausibel. Dabei handelt es sich sowohl um öl- als auch um gasbefeuerte Anlagen mit einem wahrscheinlich noch nicht sehr großen Anteil von Brennwertkesseln. Weiterhin wird angenommen, daß die neuen Heizungen gegenüber den z. T. alten Anlagen im Mittel einen deutlich höheren Nutzungsgrad haben. Damit errechnet sich eine Einsparung von 6,1 Mill. t im Jahre 2005. Der im Vergleich zur WSchV 95 höhere Beitrag ist durch die wesentlich größere Anzahl an neuen Heizungsanlagen im Vergleich zu den Wohnungsneubauten bedingt.

### *KfW Wohnraummodernisierung in den neuen Bundesländern und Aufschwung Ost*

Beide Maßnahmen, die sich auf bestehende Wohnbauten in den neuen Bundesländern beziehen, erreichen zusammen 7,6 Mill. t CO<sub>2</sub>-Einsparung pro Jahr. Die relativ hohen Werte sind durch das große Fördervolumen bedingt und durch den relativ schlechten technischen Stand der Anlagen in Ostdeutschland vor Einführung der Maßnahmen. Von den 7,6 Mill. t können 0,5 Mill. t der Novelle der HeizAnV zugeordnet werden. Der Gesamtbetrag der Einsparungen durch die HeizAnV ist um diese Teilbeträge höher ( vgl. Anhang zu Kapitel 5.1).

### *Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung (1. BImSchV)*

Die Verordnung betrifft Feuerungsanlagen in privaten Haushalten und bei Kleinverbrauchern. Der Geltungsbereich umfaßt Feuerungsleistungen von 4 kW bis 1 MW für Kohle (bis 6 MW für Öl und 10 MW für Gas). Durch die Anpassung der Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung an den Stand der Technik werden die Abgasverluste weiter gesenkt.

Ende 1994 wurde die Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung beschlossen. Nach einer Übergangsfrist müssen alle vor Inkrafttreten der Novelle errichteten Anlagen das von diesem Zeitpunkt an für Neuanlagen geltende Anforderungsniveau einhalten. Während die HeizAnlV konkrete Anforderungen an neue Anlagen stellt, kann durch die Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung ein rechtzeitiger Ersatz erzwungen werden. Die erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparung bis 2005 wird angesichts des hohen Wertes bei der HeizAnlV nur mit 0,7 Mill. t angegeben.

#### *Vor-Ort-Beratung und sozialer Wohnungsbau*

Die Maßnahmen Vor-Ort-Beratung und sozialer Wohnungsbau lassen sichtlich nur relativ beschränkte Emissionssenkungen erwarten, die summarisch ca. 0,8 Mill. t betragen.

#### *KfW-Programm für die alten Bundesländer*

Das KfW-Programm zur CO<sub>2</sub>-Minderung dient der zinsgünstigen, langfristigen Finanzierung (Kredite) von Investitionen zur CO<sub>2</sub>-Minderung und zur Energieeinsparung in Wohngebäuden in den alten Ländern einschl. Berlin (West), wobei der Zinssatz in den ersten 10 Jahren um zwei Prozentpunkte gegenüber dem Kapitalmarkt verbilligt wird. Finanziert werden Maßnahmen an vermieteten und eigengenutzten Gebäuden zum Zwecke der CO<sub>2</sub>-Minderung und Energieeinsparung durch:

- Verbesserung des Wärmeschutzes der Gebäudeaußenhülle, und zwar
  - \* Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwände,
  - \* Verbesserung des Wärmeschutzes des Daches (Einbau ausreichender Dämmschichten im Dach oder Wärmedämmung von obersten Geschoßdecken zu nicht ausgebauten Dachräumen),
  - \* Fenstererneuerung (Einbau von Fenstern mit Wärmeschutzverglasung oder Austausch vorhandener Verglasungen gegen Wärmeschutzverglasung),
  - \* nachträgliche Wärmedämmung der Kellerdecke oder von erdberührten Außenflächen beheizter Räume.
- Installation von Brennwertkesseln einschließlich der unmittelbar durch die Brennwertnutzung veranlaßten Maßnahmen.

Es kann auch eine zur Vorbereitung der Auftragsvergabe erstellte Energiediagnose gefördert werden. Mit dem über fünf Jahre geplanten Förderprogramm für die alten Bundesländer wurde durch das Bundesbauministerium ein Kreditvolumen von 5 Mrd. DM in Aussicht gestellt. Bis zum November 1996 waren nach Auskunft von KfW 1,5 Mrd. DM aus diesem Programm abgerufen. Die erwartete CO<sub>2</sub>-Minderung für das vollständige Förderprogramm wird auf 1,9 Mill. t im Jahre 2005 geschätzt (vgl. auch Tabelle 48).

### *Ökozulagen*

Mit dieser Förderung sollen CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen beim Bau oder Kauf von Eigenheimen gefördert werden. Von Januar 1996 an wird über einen Zeitraum von acht Jahren eine jährliche „Niedrigenergiehauszulage“ von 400 DM gewährt. Voraussetzung ist, daß der in der WSchV95 festgelegte Jahresheizwärmebedarf um mindestens 25 Prozent unterschritten wird. Darüber hinaus gibt es eine „Heizenergiesparzulage“, zum Beispiel für den Einbau von Wärmepumpen sowie Wärmerückgewinnungs- und Solaranlagen. Die Zulage für die neuen Technologien wird ebenfalls acht Jahre lang gewährt. Sie beträgt maximal 500 DM jährlich. Die mit diesem Aufwand insgesamt erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparung wird auf 0,4 Mill. t geschätzt (vgl. Anhang zu Kapitel 5.1).

## **5.1.5 Freiwillige Selbstverpflichtung der Energiewirtschaftsverbände MWV, BGW und VKU**

### *Mineralölwirtschaftsverband (MWV)*

Die deutsche Mineralölwirtschaft verpflichtet sich in ihrer Klimaschutzerklärung, den spezifischen Heizölverbrauch im Raumwärmemarkt in Deutschland von 1990 bis zum Jahr 2005 um 25 % zu reduzieren (MWV 1996). Dadurch soll eine Verringerung des mittleren Verbrauchs auf 17 Liter Heizöl je Quadratmeter Wohnfläche erreicht werden. Diese Zahlen gelten als Durchschnitt für Raumwärme und Warmwasser im Haushalts- und im Kleinverbrauchssektor. Zur Erreichung des Reduktionszieles werden vom MWV folgende Entwicklungen unterstellt:

- Mehr als die Hälfte der Ölheizungsanlagen muß bis zum Jahre 2005 durch moderne sparsame Anlagen ersetzt werden.

- Bis zum Jahre 2005 sollten 50 % des Gebäudebestandes mit einer optimalen Wärmedämmung ausgestattet sein.

Insbesondere die zweite Voraussetzung wird im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ nicht erfüllt. Eine solch weitreichende Gebäudesanierung wird erst im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ unterstellt. Es gibt also eine Überschneidung der Selbstverpflichtung mit den „weiteren Maßnahmen“.

Der Mineralölwirtschaftsverband will folgende Maßnahmen ergreifen bzw. unterstützen:

- Intensive und zielführende Beratung der Verbraucher.
- Wärmelieferung mit modernen Heizungsanlagen und verstärktem Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung.
- Kooperation mit den Herstellern zur forcierten Weiterentwicklung und Markteinführung von Heizsystemen.
- Kooperation mit Baustoffindustrie, Bauhandwerk und Architekten im Gebäudebereich.

Ob diese Maßnahmen ausreichen, um die oben unterstellten Entwicklungen bei der Heizungsmodernisierung und Wärmedämmung zu erreichen, ist derzeit noch unklar.

Die Reduktionsraten für die spezifischen Verbräuche lassen sich z.B. für den Haushaltssektor auch aus den Angaben der Prognos-Studie von 1995 errechnen. Demnach fällt in Deutschland der Heizölverbrauch zur Raumheizung und Warmwasserbereitung im Haushaltssektor von 22 Liter je Wohnquadratmeter im Jahre 1990 auf 17,4 Liter je Wohnquadratmeter im Jahre 2005. Die Auswirkung der Reduzierung des spezifischen Verbrauchs auf den absoluten Verbrauch wird durch einen Anstieg der beheizten Wohnfläche und durch eine Zunahme des Heizölverbrauchs in den neuen Bundesländern zum großen Teil wieder kompensiert.

*Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) sowie Verband kommunaler Unternehmen (VKU)*

Zur Realisierung der Klimaschutzklärung wird die deutsche Gaswirtschaft folgende Initiativen verstärken und auf der örtlichen Ebene umsetzen (BGW, 1996):

- Verstärkte Information und Beratung.
- Intensivere Förderung der Brennwertnutzung und der Kraft-Wärme-Kopplung.
- Ausweitung von Energiedienstleistungen wie Wärmelieferung und Contracting.
- Neue Konzepte für die Erschließung von Neubaugebieten.
- Verstärkte Nutzung von Erdgas für Haushaltsgeräte (Gas-Vollversorgung).
- Kombination von solar- und erdgasgestützter Warmwasserbereitung.

Der VKU hat sich in seinen Versorgungsgebieten verpflichtet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf 1990 um 25 % zu reduzieren (VKU 1996). Für den Sektor private Haushalte betrifft dies im wesentlichen die Gasversorgung. Hier gibt es Überschneidungen mit der Selbstverpflichtung des BGW.

#### *Überschneidung mit anderen Maßnahmen*

Aus den Rechnungen von Jochem (1996) lassen sich für die Selbstverpflichtungserklärungen der drei Verbände im Raumwärmebereich der privaten Haushalte (ohne Warmwasserbereitung) Einsparungen in Höhe von insgesamt 27 Mill. t CO<sub>2</sub> ableiten (vgl. auch Kapitel 4.2.7.1). Dieser Betrag teilt sich wie folgt auf:

BGW und VKU :	19,5 Mill. t CO <sub>2</sub>
MWV :	6,5 Mill. t CO <sub>2</sub>

Von den 19,5 Mill. t, die den Verbänden BGW und VKU zuzurechnen sind, entfallen 6,0 Mill. t auf Brennstoffeinsparungen; 1,3 Mill. t ergeben sich als fiktive Substitution bei Neubauten durch mehr Erdgas, 3,6 Mill. t resultieren aus der Substitution von Heizöl und 8,6 Mill. t werden durch die Substitution von Braunkohle und Stadtgas eingespart.

Die Gesamtzahlen, die für den Zeitraum 1990 bis 2005 als Bruttozielsetzung zu verstehen sind, wurden offensichtlich recht hoch angesetzt. Die Selbstverpflichtung der Energiewirtschaftsverbände überschneidet sich mit folgenden beschlossenen Maßnahmen:

- Novelle der WSchV95
- Novelle der HeizAnlV94
- Vor-Ort-Beratung
- KfW Modernisierungsprogramm in den neuen Bundesländern
- Aufschwung Ost

- Information für Bauherrn, Architekten, Planer, Handwerker
- Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO (1.BImSch)
- KfW Programm für Altbauten in den alten Bundesländern

Die im Jahre 2005 erreichbare CO<sub>2</sub>-Minderung dieser ergriffenen Maßnahmen, die in Tabelle 48 dargestellt ist, setzt die volle Wirksamkeit der Selbstverpflichtung der Energiewirtschaftsverbände voraus, da der technische Vollzug der Verordnungen und die Höhe der Inanspruchnahme der Förderprogramme die aktive Informations- und Öffentlichkeitsarbeit der Unternehmen der Versorgungswirtschaft erfordert.

Eine Überschneidung mit der Selbstverpflichtung der Energiewirtschaftsverbände kann schließlich bei den folgenden *weiteren* - zusätzlich in Betracht zu ziehenden - Maßnahmen entsprechend Tabelle 49 erwartet werden:

- Instrumente zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand.
- Verbesserung der Attraktivität der Gasnutzung.

Dabei wurde vorausgesetzt, daß die unterstellten Einsparpotentiale auch ausgeschöpft und die Selbstverpflichtungen weiterentwickelt werden.

In den oben genannten Zahlen dürften autonome, d.h. freiwillige, nicht geförderte Sanierungen an den Gebäudehüllen des Altbestandes eingerechnet worden sein. Nach Abzug der Einsparungen der anderen Akteure entsprechend den beschlossenen Maßnahmen bleibt für die Selbstverpflichtung der drei Verbände eine Nettoeinsparung von 2,2 Mill. t CO<sub>2</sub> aufgrund der verstärkten Substitution von Heizöl durch Erdgas (vgl. Tabelle 48).

Der Bruttobetrag der Einsparungen durch den Übergang zu Erdgas, die unter den ergriffenen Maßnahmen in Tabelle 48 verbucht sind, beträgt 5,0 Mill. t CO<sub>2</sub>. Davon sind 2,8 Mill. t in den Wirkungen der HeizAnlV, der KfW Programme und des Aufschwungs Ost enthalten (vgl. Anhang zu Kapitel 5.1)

#### 5.1.6 CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch weitere Maßnahmen

Die „weiteren Maßnahmen“, die für den Haushaltssektor zielführend sind, wurden aus IKARUS-Optimierungsrechnungen abgeleitet. Den IKARUS-Handlungsfeldern, die nicht vollständig identisch mit den „weiteren Maßnahmen“ sind, lassen sich z. T. mehrere Ein-

zelmaßnahmen zuordnen (vgl. Anhang zu Kapitel 5.1, Zuordnungsmatrix). Mit dem IKARUS-Modell wurden folgende Handlungsfelder identifiziert:

- A. Erheblich verstärkter Einsatz von Gas-Brennwertkesseln
- B. Brennstoffwechsel von Heizöl zu Erdgas
- C. Bestandsnachrüstung in den alten Bundesländern
- D. Verschärfung der Wärmeschutzverordnung ab 2000
- E. Nachrüstung von Altbauten in den neuen Bundesländern

Durch entsprechende Umsetzungsmaßnahmen auf diesen Handlungsfeldern läßt sich eine CO<sub>2</sub>-Minderung im Jahre 2005 von ca. 20 Mill. t erreichen. Die Auflösung der IKARUS-Handlungsfelder in „weitere Maßnahmen“ ist in Tabelle 49 dargestellt.

Tabelle 49:

**CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen zur Zielerreichung im Haushaltssektor  
bis zum Jahre 2005 im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ (Sparpotentiale)**

Maßn. Nr.	Bezeichnung der Maßnahmen	Deutschland Mill. t	Referenz für die Einsparung	Status	Wirkungs- zeitraum
102	Energetische Sanierung*	11,4	Zustand vor Sanierung	Vorschlag	-
	Energiesparverordnung 2000 (verschärfte WSchV)	3,8	WSchV95	Vorschlag	2000 - 2005
	Gebäudevermietungs- und Verkaufsverordnung	1,0	Zustand vor Sanierung	Vorschlag	-
	Grundsteuerverordnung	1,0	Zustand vor Sanierung	Vorschlag	-
	Attraktivität der Gasnutzung verbessern*	3,1	Ölheizung	Vorschlag sektor- übergreifend	-
	Summe	20,3			
*) Überschneidungen mit der Selbstverpflichtung von MWV, BGW und VKU. Quellen: BMBau 1996, Jochem 1996, Kolmetz et al 1994, STE-Berechnungen.					

*Anmerkungen zur Umsetzung der „weiteren Maßnahmen“*

Die Angaben zur CO<sub>2</sub>-Einsparung sind bei den ergriffenen Maßnahmen grundsätzlich anders zu bewerten als bei den vorgeschlagenen weiteren Maßnahmen. Bei den ersteren müssen die CO<sub>2</sub>-Einsparungen bis 2005 (vgl. Tabelle 48) als mit Sicherheit erreichbar angesehen werden. Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die „weiteren Maßnahmen“ sind dagegen Wunsch- oder Erwartungswerte, die von der Politik angestrebt und umgesetzt werden müssen, wenn das Reduktionsziel der Bundesregierung im Jahre 2005 verwirklicht werden soll.

Die Handlungsfelder für den Haushaltssektor wurden mit dem IKARUS-LP-Modell unter der strikten Vorgabe der Zielerreichung und im Zusammenspiel sämtlicher Sektoren der Energiewirtschaft ermittelt. Sollen die Zielwerte erreicht werden, müßte umgehend damit begonnen werden, die errechneten Einsparpotentiale auf diesen Handlungsfeldern durch wirksame Maßnahmen auszuschöpfen. Dies erfordert den Einsatz zusätzlicher Instrumente.

#### *Weitere energetische Sanierung*

Den CO<sub>2</sub>-Minderungspotentialen im Gebäudebestand kommt eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung des CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramms zu.

In der Wärmeschutzverordnung 95 ist der Gebäudebestand nur insoweit einbezogen als Renovierungs- und Sanierungsmaßnahmen einen bestimmten Umfang überschreiten. Umfassende nachträgliche Maßnahmen wurden bisher jedoch noch nicht vorgeschrieben, da die für eine weitgehende Ausschöpfung der Einsparpotentiale notwendigen Investitionen bei den heutigen Energiepreisen vielfach unwirtschaftlich sind und den Bürger hoch belasten würden. Die Bundesregierung prüft, ob und mit welchen Instrumenten eine Beschleunigung der Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand erreicht werden kann (Deutscher Bundestag, Drucksache 12/8556, 1994)

Die weitere energetische Sanierung hat von allen vorgeschlagenen Maßnahmen nach den Ergebnissen der Optimierungsrechnungen mit dem IKARUS-Modell mit 11,4 Mill. t CO<sub>2</sub> das bei weitem größte Einsparpotential. Davon entfallen entsprechend der Zuordnungsmatrix in Anhang zu Kapitel 5.1 rund 2,6 Mill. t auf weitere Gas-Brennwertkessel und der Rest auf eine bessere Wärmedämmung. Es ist zu beachten, daß die Maßnahmen Gebäudevermietungs- und Verkaufsverordnung sowie die Grundsteuer Verordnung, die auch eine Sanierung des Bestandes beinhalten, hier nicht mitgezählt werden.

Generell sind Maßnahmen an bestehenden Gebäuden danach zu orientieren, daß - bei anstehender Fassaden-, Dach- und Fenstererneuerung - zunächst die Gebäudehüllen saniert werden müssen, weil allein von deren Status der Wärmebedarf abhängt. Zuerst muß in diesen Fällen der Wärmebedarf reduziert werden, bevor eine neue Heizungsanlage



(z.B. ein Brennwertkessel) installiert wird, denn deren Dimensionierung (Leistungsgröße) wird ja durch den Wärmebedarf festgelegt.

In der Reihenfolge technischer Maßnahmen an Altbauten steht wegen der kürzeren Reinvestitionszeiten häufig zuerst die Umstellung der Fenster auf mindestens Wärmeschutzverglasung, besser noch - in Richtung Niedrigenergiehäuser - Superverglasung. Neben den Fenstern sind Dächer chronische Schwachstellen alter Häuser. Als nächste Maßnahme kommt daher die Verbesserung der Dachdämmung, insbesondere die Belegung der Dachbodenflächen mit Dämmplatten und die Aufsparrendämmung in Betracht.

Als drittes wäre die Außendämmung von Fassaden mit einer Dämmdicke von 12 cm vorzusehen, schließlich auch die Wärmedämmung der Unterseite der Kellerdecke mit einer Dämmdicke von mindestens 6 cm (Ebel 1995). Die erwähnte Reihenfolge entspricht der Kosteneffizienz der Maßnahmen.

Summarisch kann dazu gesagt werden, daß die Einspareffekte besonders bei älteren Gebäuden bis zu 50 % betragen können. Mit zunehmendem Einsparpotential sind aber immer höhere Investitionen aufzuwenden. Dabei können die anfallenden Kosten für die Verbesserung des Wärmeschutzes erheblich reduziert werden, wenn die Maßnahmen im Renovierungszyklus durchgeführt werden, d.h. wenn ohnehin Maßnahmen zur Erhaltung der Bausubstanz ergriffen werden müssen. Es ist jedoch nicht zu übersehen, daß trotzdem die Gesamtinvestitionen aufgebracht werden müssen, obwohl nur die Zusatzinvestitionen (Differenz zwischen Gesamtinvestitionen und Sowieso-Investitionen) der energiesparenden Maßnahme zuzurechnen sind.

### *Energiesparverordnung 2000*

Das Ziel der CO<sub>2</sub>-Einsparung im Gebäudebereich kann besser erreicht werden, wenn eine ganzheitliche Betrachtung unter Einbeziehung der Gebäudehülle und der Anlagentechnik vorgenommen wird. Als Kenngröße für die Formulierung der Anforderungen sollte der Gesamtheizenergiebedarf Verwendung finden. Aus der existierenden WSchV95 wird dann eine Energiesparverordnung, die im Jahre 2000 in Kraft treten soll (ESV 2000). Damit werden WSchV, HeizAnIV und Kleinf Feuerungsanlagenverordnung zusammengefaßt. Das Anforderungsniveau der künftigen Energiesparverordnung ist durch die Ver-

einbarungen zwischen Bund und Ländern, wonach eine weitere Verschärfung, bezogen auf das Nachweisverfahren der WSchV95 von 25 bis 35 % realisiert werden soll, bereits vorgegeben.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden aufgrund der IKARUS-Rechnungen folgende Bedingungen unterstellt:

- Die verschärfte ESV 2000 soll gegenüber der WSchV95 einen um ein Drittel niedrigeren Heizenergieverbrauch verlangen.
- Bei den Heizanlagen ist ein massiver Einsatz von Brennwertkesseln erforderlich. Damit muß die Förderung eines wesentlich stärkeren Gaseinsatzes einhergehen.

Durch diese Maßnahmen wird bis 2005 eine CO<sub>2</sub>-Minderung um 3,8 Mill. t erwartet. Davon entfallen 1,8 Mill. t auf eine bessere Wärmedämmung und 2,0 Mill. t auf die verstärkte Einführung von Gas-Brennwertkesseln (vgl. Zuordnungsmatrix in Anhang zu Kapitel 5.1).

#### *Gebäudevermietungs- und Gebäudeverkaufsverordnung*

Die Einführung einer Gebäudevermietungs- und Gebäudeverkaufsverordnung knüpft an eine vergleichbare Verordnung für Wohngebäude in Dänemark sowie die SAVE-Richtlinie 93/76/EWG der EU-Kommission zum Wärmebedarfsausweis an. Sie nimmt besonders Bezug auf das Investor/Nutzer-Dilemma durch Mieten oder Leasing von Gebäuden sowie auf die Geringschätzung von Energiekosten beim Besitzerwechsel von Gebäuden. Eine Quantifizierung dieser Verordnung, die ein energietechnisches Gutachten bei Neuvermietung bzw. Verkauf vorschreibt, wird hier nur sehr grob versucht (vgl. auch Kapitel II.4). Für die privaten Haushalte werden, basierend auf Schätzungen des ISI für den Kleinverbrauchssektor, Einsparungen von ca. 1 Mill. t CO<sub>2</sub> veranschlagt.

#### *Grundsteuerverordnung*

Schwierig ist die Einschätzung der Wirkung einer Grundsteuerverordnung, die den Gebäudeeignern eine je nach erreichter Energiekennzahl des Gebäudes unterschiedliche Grundsteuer auferlegt. Gebäude, die eine Heizenergiekennzahl von beispielsweise mehr

als 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 200 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreichen, müßten mit einer doppelt bzw. dreifach so hohen Grundsteuer wie diejenigen mit weniger als 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) beaufschlagt werden.

Diese Verordnung könnte auch gut mit der o.g. Gebäudevermietungs- und Gebäudeverkaufsverordnung kombiniert werden. Ihre Wirkung dürfte für den Bereich der privaten Haushalte ebenfalls unter 1 Mill. t CO<sub>2</sub> liegen (vgl. auch Kapitel II.4).

#### *Attraktivität der Gasnutzung verbessern*

Erdgas hat gegenüber Kohle je Energieeinheit einen um ca. 50 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß, in Bezug auf Heizöl sind es immerhin noch 25 %. Die Substitution von Kohle und Heizöl durch Erdgas ist damit eine attraktive Maßnahme, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Haushaltssektor zu verringern.

Im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ muß im Jahre 2005 Heizöl durch Erdgas zusätzlich substituiert werden, damit sich eine Emissionsreduzierung von 3,1 Mill. t CO<sub>2</sub> ergibt. Die Mehrnutzung von Erdgas bedeutet, daß zusätzlich zu den autonomen und den im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ berücksichtigten Heizungsumstellungen von Öl auf Gas weitere 25 % der 1990 vorhandenen Ölheizungen bis 2005 durch Gasheizungen ersetzt werden müssen. Eine entsprechend ausgerichtete, verbesserte Selbstverpflichtung der deutschen Gaswirtschaft könnte hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

#### *Fazit: Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen*

Vereinbarungsgemäß wird die von Prognos erwartete Entwicklung als Referenz für diese Studie gewählt. Die entsprechende CO<sub>2</sub>-Emission beläuft sich entsprechend Tabelle 45 auf 115,2 Mill. t im Jahre 2005. Hier wird unterstellt, daß Prognos aus der Liste entsprechend Tabelle 48 die beschlossenen Maßnahmen von WSchV95 (Nr.29) bis zur Novellierung 1.BImSchV (Nr. 101) bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Minderung berücksichtigt hat. Dies führt nach Tabelle 50 zu einer Einsparung der direkten (brennstoffseitigen) CO<sub>2</sub>-Emissionen von 20,8 Mill. t (Raumwärme und Warmwasser).

Der Beitrag der Maßnahmen KfW-Programm für die alten Bundesländer, Ökozulagen sowie der Nettoeffekt der Selbstverpflichtung mit einer Gesamtreaktion von 4,5 Mill. t,

die bei Prognos nicht enthalten sind, werden hier im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ erfaßt, in dem im Jahre 2005 mit einer Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emission auf 110,7 Mill. t gerechnet werden kann. Im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ wird das Emissionsniveau schließlich bis 2005 auf 91,7 Mill. t gesenkt.<sup>28</sup>

Tabelle 50:

**Szenario zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im Haushaltssektor im Jahre 2005**

	CO <sub>2</sub> -Reduktion bis 2005 <sup>1)</sup> in Mill. t	CO <sub>2</sub> -Emission im Jahre 2005 <sup>1)</sup> in Mill. t
„Ohne-Maßnahmen-Szenario“		136,0
- CO <sub>2</sub> -Reduktion Raumwärme, Maßnahmen 29 bis 101 <sup>2)</sup>	20,2	
- CO <sub>2</sub> -Reduktion Warmwasserbereitung <sup>3)</sup>	0,6	
Referenzszenario entsprechend Prognos <sup>4)</sup>		115,2
- CO <sub>2</sub> -Reduktion Raumwärme, Maßnahmen 111 und 115 sowie Selbstverpflichtungen <sup>2)</sup>	4,5	
„Mit-Maßnahmen-Szenario“		110,7
- CO <sub>2</sub> -Reduktion Raumwärme durch weitere Maßnahmen <sup>5)</sup>	20,3	
- CO <sub>2</sub> -Reduktion Warmwasserbereitung <sup>6)</sup>	-1,4	
„Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“		91,7
<sup>1)</sup> Nur direkte <i>brennstoffbedingte</i> CO <sub>2</sub> -Emissionen in den Bereichen Raumwärme und Warmwasser. Ohne zusätzliche Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Aktivitäten auf Landes- und Kommunalebene.-		
<sup>2)</sup> Vgl. dazu Tabelle 48.- <sup>3)</sup> Vgl. dazu Kapitel 5.2.2.1.- <sup>4)</sup> Vgl. dazu Tabelle 45.- <sup>5)</sup> Vgl. dazu Tabelle 49.-		
<sup>6)</sup> Nur zentrale Warmwasserbereitung, negativer Wert durch Mehreinsatz von Erdgas und Heizöl; Minderemissionen werden im Fernwärme- und Stromerzeugungsbereich berücksichtigt. Vgl. Kapitel 5.2.3.1. Die Angaben schließen die Wirkungen einer erneuten Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung ein.		

*Interpolation der CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte für das Jahr 2000*

Die Tabelle 51 zeigt die interpolierten Werte für das Jahr 2000. Dabei ist mit großer Sicherheit anzunehmen, daß die Reduktion von 17,3 Mill. t CO<sub>2</sub> im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Jahre 2000 erreicht wird.

Bei den Rechnungen für das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ wurde - außer bei der Energiesparverordnung 2000 - unterstellt, daß die Umsetzung sofort (also noch 1997) beginnt.

<sup>28</sup> In diesen Angaben sind die CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte durch Aktivitäten auf Landes- und Kommunalebene nicht enthalten.

Tabelle 51:

**Interpolation der CO<sub>2</sub>-Minderungswirkungen im Raumwärmebereich der privaten Haushalte im Jahre 2005 auf das Jahr 2000 für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ und das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“**

Maßn. Nr.	Kurzbezeichnung der Maßnahmen	2000	2005
		Mill. t CO <sub>2</sub>	
Ergriffene Maßnahmen			
29	Novelle WSchV95 <sup>1)</sup>	2,5	5,0
30	Novelle HeizAnlV94 <sup>1)</sup>	3,0	6,1
31	Vor-Ort-Beratung <sup>1)</sup>	0,1	0,1
33	KfW Programm neue Bundesländer <sup>1)</sup>	6,2	6,2
34	Aufschwung Ost <sup>1)</sup>	1,4	1,4
35	Sozialer Wohnungsbau <sup>1)</sup>	0,3	0,7
101	Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO (1.BImSchV) <sup>1)</sup>	0,4	0,7
111	KfW-Programm alte Bundesländer <sup>1)</sup>	1,9	1,9
115	Ökozulagen	0,4	0,4
	Selbstverpflichtung <sup>2)</sup> (Wechsel von Öl zu Gas)	1,1	2,2
	Summe über alle Maßnahmen	17,3	24,7
Weitere Maßnahmen			
102	Energetische Sanierung <sup>3)</sup>	4,6	11,4
	Energiesparverordnung 2000 (verschärfte WSchV)	-	3,8
	Gebäudevermietungs- und Verkaufsverordnung <sup>3)</sup>	0,4	1,0
	Grundsteuerverordnung <sup>3)</sup>	0,4	1,0
	Attraktivität der Gasnutzung verbessern <sup>3)</sup>	1,3	3,1
	Summe über alle Maßnahmen	6,7	20,3

<sup>1)</sup> Überschneidungen mit der Selbstverpflichtung von MWV, BGW und VKU.  
<sup>2)</sup> Maßnahmen im Rahmen der Selbstverpflichtungen  
<sup>3)</sup> Wirkung unter der Voraussetzung, daß die Umsetzung der Maßnahmen sofort beginnt.  
Quelle: Berechnungen von STE.

### 5.1.7 Umsetzbarkeit der weiteren Maßnahmen bis 2005

Sofern die Umsetzung sofort beginnen könnte, müßten im Haushaltssektor für das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ in den noch verbleibenden neun Jahren bis 2005 in Deutschland zusätzlich CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 20,3 Mill. t reduziert werden. Da hierzu aber die gesetzlichen und finanziellen Rahmenbedingungen noch fehlen, kann derzeit keine Aussage über die Zielerreichbarkeit gemacht werden. Dies war auch nicht Gegenstand der Studie (vgl. Kapitel 5.1.3).

In den neuen Bundesländern handelt es sich im wesentlichen um eine zentrale Maßnahme, nämlich um die energetische Sanierung von weiteren 30 % des Gebäudebestandes von 1990. Zur Umsetzung müßte ein neues Modernisierungsprogramm mit dem 1,3-fachen Fördervolumen des noch laufenden KfW-Programms aufgelegt werden.

In den alten und neuen Bundesländern können durch die geplante Energiesparverordnung, die im Jahre 2000 in Kraft treten soll, rund 3,8 Mill. t CO<sub>2</sub> gespart werden. Davon sind 2,0 Mill. t CO<sub>2</sub> mittels einer besseren Wärmedämmung zu reduzieren (vgl. Tabelle 51, Energiesparverordnung 2000). Voraussetzung ist allerdings, daß sich die potentiellen Bauherren nicht durch die erneute Kostenerhöhung innerhalb der kurzen Zeitspanne von 1995 bis 2000 infolge der verschärften Wärmedämmungsvorschriften abhalten lassen. Kritiker erwarten eine deutliche Reduktion des Wohnungsneubaus. Unter dieser Voraussetzung wäre die errechnete Einsparung von ca. 2,0 Mill. t CO<sub>2</sub> bis 2005 nicht zu erreichen.

Erdgas muß bis 2005 in einem sehr viel stärkeren Maße Heizöl substituieren als dies bei den beschlossenen Maßnahmen und der autonomen Entwicklung der Fall ist. Dies ist aber ein sektorübergreifendes Problem, das nicht nur für den Haushaltsbereich alleine gelöst werden muß. Entsprechend den IKARUS-Optimierungsrechnungen müßte außerdem ein sehr großer Teil der Gasbenutzer auch Brennwertkessel einsetzen, um insgesamt die in Tabelle 51 ausgewiesenen 3,1 Mill. t CO<sub>2</sub> zu sparen. Eine solch massive Verwendung dieser Technik läßt sich aber vermutlich weder durch das laufende KfW-Programm für die alten Bundesländer noch durch die geltende Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnlV) bewirken.

Die Situation könnte sich allerdings etwas „entspannen“, wenn man den Verkehrssektor in die Minderungs-Überlegungen einbezieht. Im IKARUS-Reduktionsszenario, das den bisherigen Überlegungen zugrunde liegt, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs nur moderat gebremst. Würde es gelingen, den Verkehr im Jahre 2005 etwa auf das Emissionsniveau von 1992 zu bringen, müßten die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Haushaltssektor - modelltechnisch - weniger stark, nämlich um knapp 4 Mill. t, reduziert werden.

### 5.1.8 Zusammenfassung und Bewertung der Ländermaßnahmen

Informationen über Landesförderprogramme liegen für Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, das Saarland und Schleswig-Holstein vor. Nach schriftlichen oder telefonischen Mitteilungen gibt es keine Förderprogramme in Niedersachsen, Bremen und Mecklenburg-Vorpommern. Es fehlt ein Rücklauf von den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Hamburg.

Die Darstellungen der Förderprogramme der oben genannten acht Länder enthalten praktisch keine Quantifizierung potentieller CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Diese sind auch nicht nachrechenbar, da die Angaben nicht ausreichen. Eine Überschneidung mit Bundesprogrammen ist nicht erkennbar. Die Programme lassen sich zwei Kategorien zuordnen:

- Maßnahmen an bestehenden Gebäuden
- Maßnahmen an Neubauten.

In allen Fällen ist auch die „Rationelle Energieverwendung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen“ Fördergegenstand. Darunter fallen insbesondere:

- kontrollierte Be- und Entlüftung mit und ohne Wärmerückgewinnung,
- Wärmepumpen,
- solarthermische Anlagen,
- PV, Wind, Wasserkraft, Biomasse, Erdwärme,
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), vor allem BHKW.

Diese Aktionen bilden den alleinigen Förderbezug im Saarland und in Brandenburg (hier nur für kleine und mittlere Unternehmen, kein Hinweis auf Wohngebäude).

Schwerpunktmäßig umfassen die oben genannten Programme Gebäudehülle und Heizsysteme, d.h. Niedrigenergiehäuser, Sanierung von Gebäudehüllen, Decken und Fenstern sowie neue Heizaggregate und/oder kohlenstoffarme(-lose) Energieträger.

Programme für Altbauten gibt es in Baden-Württemberg, Berlin, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und im Saarland. Programme für Neubauten existieren in Baden-Württemberg, Berlin, Schleswig-Holstein und im Saarland.

Die Förderprogramme sind durchaus ambitioniert und bieten gute Unterstützung bei den Einzelmaßnahmen. Das Hauptproblem ist der jeweils sehr beschränkte finanzielle Rahmen, der gelegentlich erwähnt wird und der sich nur in der Größenordnung einiger Mill. DM bewegt. Aus diesem Grund ist der Gesamtbeitrag der Länderprogramme begrenzt. Man kann mit einiger Sicherheit annehmen, daß die CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierungen durch die Ländermaßnahmen im Haushaltssektor nur in der Größenordnung von 5 bis 10 % der CO<sub>2</sub>-Verminderungen durch die Maßnahmen des Bundes liegen. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Städteprogrammen, die hier nicht berücksichtigt sind.

### 5.1.9 Vergleich mit den Ergebnissen der RWI/ifo-Studie

Im folgenden werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Haushaltssektors nach den RWI/ifo-Szenarien (Hillebrand 1996) mit den Szenarien der vorliegenden Studie verglichen (Tabelle 52).

Tabelle 52:

**Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen und CO<sub>2</sub>-Minderungen im Haushaltssektor in den Szenarien von RWI/ifo und in der vorliegenden Studie**

	1990	2005	Differenz 2005 - 1990
	direkte CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t		
<b>RWI/IFO</b>			
Referenz-Szenario	130,4	126,2	-4,2
IMA-Szenario	130,4	115,6	-14,8
Enquete-Szenario	130,4	113,4	-17,0
Enquete-Szenario mit zusätzlichen Maßnahmen	130,4	79,4	-51,0
<b>Vorliegende Studie<sup>1)</sup></b>			
"Ohne-Maßnahmen-Szenario"	128,4	136,0	7,6
"Mit-Maßnahmen-Szenario"	128,4	110,7	-17,7
"Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario"	128,4	91,7	-36,7
<sup>1)</sup> Raumwärme sowie Warmwasserbereitung; ohne Minderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Aktivitäten auf Landes- und Kommunalebene. Quellen: Prognos 1995, RWI/ifo 1996, Öko-Institut 1996, STE-Berechnungen.			

Das Referenz-Szenario von RWI/ifo beschreibt eine vermutete Entwicklung mit folgenden, Anfang der 90er Jahre in Kraft gesetzten Maßnahmen:



- Bundestarifordnung Elektrizität
- Stromeinspeisegesetz
- Verbändevereinbarung
- Förderung der Sanierung des Fernwärmebestandes in den neuen Bundesländern
- Förderungsprogramm Windenergie
- Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien
- Geänderte Besteuerung von motorgetriebenen Kraft-Wärme-Koppelungsanlagen
- 1000 Dächer Photovoltaik Programm
- Erhöhung der Mineralölsteuer

In diesem Szenario errechnet RWI/Ifo für den Haushaltssektor gegenüber 1990 eine CO<sub>2</sub>-Minderung von 4,2 Mill. t. Damit liegt dieses Szenario zwischen dem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“, in dem keine besonderen CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen zugrunde gelegt sind, und dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“, in dem mehr Maßnahmen als im RWI/Ifo Referenz-Szenario berücksichtigt wurden.

Im IMA-Szenario von RWI/Ifo werden gegenüber dem Referenzszenario immerhin 28 zusätzliche Reduktionsmaßnahmen mit betrachtet. Den hier untersuchten Haushaltssektor dürften folgende Maßnahmen berühren:

- Einführung einer CO<sub>2</sub>/Energiesteuer (M1)
- Novellierung der Wärmeschutzverordnung (M3)
- Novellierung der HeizAnlV (M4)
- Novellierung der 1.BImSchV (M6)
- Novellierung der Honorarverordnung, HOAI (M7)
- Verbesserung der Aus- und Fortbildung (M8)
- Weiterentwicklung von Energiekonzepten (M9)
- Ausbau der Fernwärmeversorgung (M11)
- Programm Energiediagnosen (M14)

Ein Teil der Maßnahmen des IMA-Szenarios kommt im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ dieser Studie nicht zum Tragen, dafür aber einige andere (vgl. Tabelle 45). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Differenzen gegenüber 1990 stimmen für beide Szenarien trotz dieser

und anderer methodischer Unterschiede sowie differierender Annahmen zur Zahl der Bevölkerung im Jahre 2005 relativ gut überein.

Im Enquete-Szenario geht RWI/Ifo für den Haushaltssektor von einer Verschärfung der Wärmeschutzverordnung im Jahre 2000 und von einem Förderprogramm zur CO<sub>2</sub>-Minderung aus. Im Vergleich zum IMA-Szenario wird damit eine weitere Reduktion um 2,2 Mill. t erzielt, und es werden gegenüber 1990 insgesamt 17,0 Mill. t weniger emittiert.

Im Enquete-Szenario mit zusätzlichen Maßnahmen wird in der RWI/Ifo-Studie unterstellt, daß die Wärmeschutzverordnung auf den *gesamten* Gebäudebestand in den alten und neuen Bundesländern ausgedehnt wird. Damit wird eine weitere sehr wirkungsvolle CO<sub>2</sub>-Minderung von 34 Mill. t erreicht. In diesem Szenario wird im Jahre 2005 gegenüber 1990 eine Reduktion von insgesamt 51 Mill. t berechnet, was einer Minderungsrate von 39 % entspricht.

So weit geht das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ dieser Studie nicht. Hier beträgt die CO<sub>2</sub>-Reduktion gegenüber 1990 „nur“ knapp 37 Mill. t oder fast 29 %. Anders als von RWI/Ifo wird realistischerweise angenommen, daß bis 2005 wohl kaum mehr als etwa 35 % bis 40 % des Gebäudebestandes von 1990 energetisch saniert werden können.

### 5.1.10 Literatur zum Kapitel 5.1

- BGW (1996): 1. Zwischenbericht zur Klimaschutzzerklärung der deutschen Gaswirtschaft vom März 1995 bis zum Jahr 2005, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V., Bonn, Februar 1996.
- BMBau (1996): Persönliche Mitteilungen zum Förderprogramm „Ökozulagen“, Dezember 1996.
- Deutscher Bundestag, Drucksache 12/8556 (1994): Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, 4.10.1994.
- Ebel, W. et al. (1995): Einsparungen beim Heizwärmebedarf - ein Schlüssel zum Klimaproblem, IWU (Hrsg.), Darmstadt, Okt. 1995.
- Hillebrand, B. et al. (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien. In: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19. Essen 1996.
- ISI, Ifo, GEU (1993): Analyse von Hemmnissen und Maßnahmen für die Verwirklichung von CO<sub>2</sub>-Minderungszielen, Schlußbericht an die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, Karlsruhe, München, Leipzig, November 1993.
- Jochem, E. et al. (1996): Freiwillige Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge durch beschleunigte CO<sub>2</sub>-Minderung bei der Produktion und bei ihren Kunden, Bericht für das UBA, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, 1996.
- Karl, H.D. (1995): Wirksamkeit von Maßnahmen zur Energiesparberatung, VDI-Berichte Nr. 1204, 1995.
- KfW (1996): Persönliche Mitteilungen zum Programm CO<sub>2</sub>-Minderung, Nov. 1996.
- Kolmetz, S. et al. (1994): Energieeinsparpotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle. IKARUS Projektbericht Nr. 5-22, Januar 1994.
- MWV (1996): Klimaschutzzerklärung der deutschen Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt, MWV aktuell spezial, Abt. Öffentlichkeitsarbeit des Mineralölwirtschaftsverbandes e.V., Hamburg, 4.3.1996.
- Prognos AG (1995): Energiemärkte Deutschland im zusammenwachsenden Europa-Perspektiven bis zum Jahr 2020, Basel, 1995.
- VKU (1996): Konkretisierte Erklärung der kommunalen Wirtschaft zur Klimavorsorge, Verband kommunaler Unternehmen, März 1996.

## 5.2 Warmwasserbereitung, Kochen und andere elektrische Geräte in privaten Haushalten<sup>29</sup>

### 5.2.1 Vorbemerkungen

In der Analyse für die Anwendungen Warmwasserbereitung, Kochen und andere elektrische Geräte wird bezüglich der privaten Haushalte eine weitere Differenzierung vorgenommen, um den spezifischen Wirkungsraum unterschiedlicher politischer Instrumente möglichst genau abbilden zu können.

Es werden daher - die elektrische Raumheizung wird hier nicht betrachtet - drei verschiedene Gerätegruppen unterschieden

- *Geräte zur Warmwasserbereitung:* Hier werden alle Geräte zur zentralen oder dezentralen Warmwasserbereitung für sämtliche Energieträger (Strom, Fernwärme, Heizöl, Erdgas, Kohle etc.) zusammengefaßt.
- *Geräte zum Kochen:* Hierzu zählen elektrische, Erdgas- und Kohleherde.
- *Andere elektrische Geräte:* Unter dieser Gruppe werden alle elektrischen Geräte außer Herden und Warmwasserbereitern subsumiert.

In den hier vorliegenden Untersuchungen wurde allerdings der Bereich Kochen aus zwei Gründen ausgeklammert:

- Zwar existieren einige Technologien, die zu einer signifikanten Verbesserung des Nutzungsgrades von Elektroherden führen (Keramikkochfelder, automatische Topferkennung, Induktionsherde, etc.), doch liegen die Preise für derartige Herde bisher teilweise bei einem Mehrfachen der konventionellen Elektroherde.
- Die Strategie des Fernwärme- und Zentralheizungsausbaus führt tendenziell zur Verdrängung von Gasherden, wenn auf die kostenintensive Doppelverlegung von Gas- und Wärmeverteilsystemen verzichtet wird. Die damit notwendige Optimierung zwischen ressourcensparenden Heizungs- und Kochsystemen bedarf eines hinsichtlich Spareffekten und Kosten sehr stark differenzierenden politischen Instrumentariums. Das notwendige Design eines solchen Instrumentariums kann im Rahmen der für die vorliegende Arbeit zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht geleistet werden.

---

<sup>29</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom Öko-Institut bearbeitet.

Für die Verbrauchsgruppen Warmwasserbereitung und sonstige Elektrogeräte (außer Herden) werden die folgenden Instrumente betrachtet:

#### 1. Bereits wirkende Maßnahmen

- Abschaffung der Leuchtmittelsteuer (IMA: Nr. 4)
- Novellierung der Heizanlagenverordnung (Verbesserung des Nutzungsgrades für die Heizungssysteme und damit auch der an diese Heizungssysteme gekoppelten zentralen Warmwasserbereitung) - (IMA: Nr. 30)

#### 2. Noch ausstehende bzw. vorgeschlagene Maßnahmen

- Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung (weitere Verbesserung des Nutzungsgrades für an die Heizungsanlage gekoppelte zentrale Warmwasserbereitungsanlagen)
- Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz (IMA: Nr. 108)
- Elektroanwendungsverordnung für elektrische Haushaltsgeräte (Mindeststandards für eine Auswahl von Neugeräten im Haushaltsbereich)
- Novellierung der Heizanlagenverordnung bezüglich zentraler Warmwasserbereitung (Aufnahme einer Verpflichtung zum Einbau zentraler Warmwasserbereitungsanlagen)

Die Auswahl dieser Instrumente macht deutlich, daß sie durchweg auf jeweils neue Geräte abzielen. Der Wirkungsraum aller Instrumente muß dementsprechend über zwei Komponenten bestimmt werden

- Netto-Zugänge der jeweiligen Geräte oder Systeme
- Substitution von Geräten bzw. Systemen im Bestand über die Lebensdauerzyklen

Die im folgenden dargestellte Analyse der genannten Instrumente folgt also einem einheitlichen Schema:

- Zuerst wird der Wirkungsraum der Instrumente ermittelt, es wird also bestimmt, wieviel Geräte oder Systeme von den jeweiligen Instrumenten erfaßt werden.
- In einem weiteren Schritt werden die Standards für die neuen Geräte oder Systeme definiert.

- Daran schließt sich die Berechnung des Flottenverbrauchs aller Geräte oder Systeme an, die im Regelfall über ein Stock-Exchange-Modell erfolgt.
- Für den Fall, daß ein Instrument auch auf die Energieträgersubstitution abzielt, werden die Substitutionsbeziehungen analysiert, welche auch die Ergebnisse des Stock-Exchange-Modells reflektieren.

Aus den so gewonnenen Strukturdaten können dann die Veränderungen des Energiebedarfs bzw. der CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt werden.

## **5.2.2 Maßnahmen in der Referenzentwicklung**

### **5.2.2.1 Maßnahmen im Bereich Warmwasserbereitung**

Die Anfang 1995 in Kraft getretene Novelle der Heizanlagenverordnung (IMA-Liste Nr. 30) bewirkt eine verbesserte Effizienz der Heizungsanlagen, wobei hierbei vor allem zentrale Öl- und Gasheizungsanlagen betroffen sind. Die höheren Nutzungsgrade werden dabei vor allem durch den Einsatz effizienterer Brenner und Kesselanlagen erzielt. Obwohl sich die Wirkung dieser Verordnung sich überwiegend im Bereich Raumwärme des Haushalts- und Kleinverbrauchssektors entfaltet, sind mit ihr ebenfalls energiebedarfsenkende Effekte für die Warmwasserbereitung verbunden, denn eine verbesserte Effizienz der Heizanlage wirkt natürlicherweise auch auf zentrale Warmwasserbereitungsanlagen.

In einem ersten Schritt wurde in Anlehnung an Prognos (1995) die Entwicklung der Warmwasserbereitungsanlagen ermittelt. Hierbei bedurfte es nur der Analyse für die zentralen Warmwasserbereitungsanlagen, wobei hinsichtlich der Verordnung nur die zentralen Warmwasseranlagen für Heizöl und Erdgas von Belang sind (Tabelle 53).

Die Analyse wurde hier für das Jahr 2005 durchgeführt, wobei nach alten und neuen Bundesländern differenziert wurde, da hier teilweise noch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Parameter zu berücksichtigen sind.

Im Jahre 2005 ermittelt sich aus den Netto-Neuzugängen und einer durchschnittlichen Lebensdauer von 20 Jahren für die alten Bundesländer ein Anteil der zwischen 1992 und 2005 neu eingebauten Heizungsanlagen für Ölheizungen mit 66 % und für Gasheizungen

mit 76 % des Gesamtbestandes. Da zentrale Öl- und Gasheizungen in den neuen Bundesländern nur in geringen Stückzahlen Anwendungen fanden, unterscheidet sich hier der Anteil von neuen Anlagen im Jahre 2005 mit 90 % (Ölheizungen) bzw. 93 % (Gasheizungen) deutlich von dem in den alten Bundesländern.

Aus der Differenz der Nutzungsgrade für neue Anlagen kann somit die Energieeinsparung ermittelt werden.

Tabelle 53:

**Bestand an zentralen Warmwasserbereitungssystemen  
in Deutschland 1992 bis 2020**

	1992	2000	2005	2010	2015	2020
Mill. Anlagen						
Deutschland						
Fernwärme	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1
Öl	8,0	8,6	8,9	9,1	9,1	9,1
Gas	5,0	7,4	8,6	9,4	10,0	10,4
Kohle	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Summe	16,5	19,2	20,7	21,8	22,4	22,8
Alte Bundesländer						
Fernwärme	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2
Öl	7,7	7,7	7,9	7,9	7,9	7,8
Gas	4,7	6,1	6,9	7,6	8,1	8,4
Kohle	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe	14,2	15,7	16,8	17,5	18,1	18,5
Neue Bundesländer						
Fernwärme	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0
Öl	0,3	0,8	1,1	1,2	1,2	1,2
Gas	0,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0
Kohle	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe	2,3	3,5	4,0	4,3	4,3	4,3
Abweichungen in den Summen durch Rundungen.						
Quelle: Prognos (1995), leicht verändert.						

Hätten die ab 1992 neu eingebauten zentralen Systeme für Öl- und Gasheizungen konstant den Nutzungsgrad damaliger *neuer* Systeme behalten (60 % für Ölheizungen bzw. 64 % für Gasheizungen), so hätte im Jahre 2005 der Energiebedarf um 12,8 PJ über dem von Prognos angegebenen Wert gelegen. Für die neuen Bundesländer beträgt dieser (zunächst fiktive Einsparwert) 0,3 PJ für Heizöl sowie 0,5 PJ für Erdgas.

Berücksichtigt man weiterhin, daß die Wirkung der Heizanlagenverordnung zumindest theoretisch erst ab 1995 einsetzt und rechnet man die Einsparungen proportional auf den Zeitraum 1995 bis 2005 um, so ergeben sich Energieeinsparungen von insgesamt 8,9 PJ.

Diese Betrachtung ignoriert zunächst zwei wichtige Einflüsse:

1. Die Heizanlagenverordnung hatte bereits vor ihrem Inkrafttreten eine Ankündigungswirkung, sie wirkte also bereits vor 1995. Das Ignorieren dieser Ankündigungswirkung unterschätzt die Wirkung der Verordnung.
2. Auch ohne Erlass der Verordnung hätte sich der Nutzungsgrad der Heizanlagen in der Tendenz des technischen Fortschritts verbessert. Die Nichtberücksichtigung dieses Einflusses führt zu einer Überschätzung der Wirkung.

Da die Berücksichtigung dieser beiden Einflüsse hoch spekulative Schätzungen voraussetzen würde und die Wirkungsrichtung beider Einflußfaktoren entgegengesetzt ist, wird hier eine Kompensation beider Effekte angenommen und keine weitere Anpassung vorgenommen.

Die Tabelle 54 zeigt die Wirkung der Heizanlagenverordnung im Detail.

Tabelle 54:

**Wirkung der Heizanlagenverordnung (bereits ergriffen) im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Ölheizungen	Gasheizungen	Ölheizungen	Gasheizungen
Energieeinsparung in PJ	4,16	4,14	0,20	0,40
CO <sub>2</sub> -Minderung in Mill. t	0,31	0,23	0,02	0,02
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts				

Insgesamt ist damit der Heizanlagenverordnung im Jahr 2005 für den Bereich Warmwasserbereitung eine Energieeinsparung von 8,9 PJ und eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 0,6 Mill. t zuzurechnen.

#### 5.2.2.2 Maßnahmen im Bereich Elektrogeräte

Der Stromverbrauch von Beleuchtungsanlagen wurde durch die Abschaffung der Leuchtmittelsteuer (IMA-Liste Nr. 4) beeinflusst. Da diesbezüglich keine näheren Daten vorliegen, ist allerdings eine Quantifizierung nicht möglich.



### 5.2.3 Zusätzliche Maßnahmen

#### 5.2.3.1 Maßnahmen im Bereich Warmwasserbereitung

Zusätzlich zu den Maßnahmen, die in den Projektionen des Referenzszenarios bereits erfaßt sein dürften, werden hier zwei weitere Instrumente vorgeschlagen, die im Bereich der Warmwasserbereitung zu einer weiteren Effizienzerhöhung bzw. CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen könnten:

- Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung
- Novellierung der Heizanlagenverordnung.

Die strengeren Anforderungen an die maximalen Abgasverluste in einer novellierten *Kleinf Feuerungsanlagenverordnung* (1. BImSchV) verbessern natürlich auch die Effizienz der Warmwasserbereitung für den Fall, daß Warmwasser über ein zentrales, an die Heizungsanlage gekoppeltes System bereitete wird.

Vordergründig betrifft die Verordnung daher zunächst wieder nur zentrale Öl- und Gasheizungen. Unscharf ist jedoch der Anwendungsbereich der Etagenheizungen für Erdgas. Diese werden zwar hinsichtlich ihrer Leistung von der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung erfaßt, doch liegen keine differenzierten Daten für die dezentralen Warmwasserbereitungssysteme (Durchlauferhitzer und Etagenheizungen) vor, so daß die Zahl der betroffenen Systeme nur geschätzt werden kann. Da eine solche Schätzung jedoch derzeit mit hohen Unsicherheiten behaftet ist, wird der Bereich der Gasetagenheizungen hier ausgeklammert und am Ende des Abschnitts eine grobe Schätzung angefügt.

Hinsichtlich der Zentralheizungssysteme wird mit der Novelle der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung eine Verbesserung des Nutzungsgrades für die Warmwasserbereitungssysteme um jeweils 3 bis 4 Prozentpunkte unterstellt.

Damit ergeben sich (abzüglich der bereits mit der Heizanlagenverordnung erzielten Effekte) die in der Tabelle 55 gezeigten Resultate. Dabei wurde unterstellt, daß die novellierte Verordnung im Jahre 1998 in Kraft treten kann.

Tabelle 55:

**Wirkung einer novellierten Heizanlagen- und KLEINFEUERUNGSANLAGENVERORDNUNG  
(vorgeschlagen) im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Ölheizungen	Gasheizungen	Ölheizungen	Gasheizungen
Energieeinsparung in PJ	1,51	1,31	0,28	0,25
CO <sub>2</sub> -Minderung in Mill. t	0,11	0,07	0,02	0,01
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts				

Zusätzlich zu den im Raumwärmebereich erzielten Effekten würde eine novellierte Kleinfeuerungsanlagenverordnung für den Bereich der Warmwasserbereitung in Deutschland eine Energieeinsparung von ca. 3,3 PJ bzw. eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 0,2 Mill. t bewirken.

Neben einer Verbesserung der Effizienz der Warmwasserbereitungssysteme spielt in bezug auf die Emissionsminderung die Energieträgersubstitution eine besondere Rolle.

Die Referenzprognose von Prognos (1995) geht diesbezüglich von einem leicht sinkenden Anteil von zentralheizungsgekoppelten Warmwasserbereitungsanlagen und einer kräftigen Zunahme von dezentralen Anlagen aus (von 1992 bis 2005: elektrisch +15 %, Gas +14 %).

Tabelle 56:

**Zentrale Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme, 1992 und 2005**

	Zentrale Heizungssysteme		Zentr. Warmwasserbereitung	
	1992	2005	1992	2005
Mill. Anlagen				
Deutschland				
Fernwärme	3,99	4,50	2,80	3,00
Öl-Zentralheizung	10,67	12,44	8,00	9,00
Gas-Zentralheizung	9,09	16,44	5,00	8,50
Alte Bundesländer				
Fernwärme	2,31	2,86	1,50	1,80
Öl-Zentralheizung	10,27	10,97	7,70	7,90
Gas-Zentralheizung	8,55	13,53	4,70	6,90
Neue Bundesländer				
Fernwärme	1,69	1,64	1,30	1,20
Öl-Zentralheizung	0,40	1,47	0,30	1,10
Gas-Zentralheizung	0,55	2,91	0,30	1,60
Quelle: Prognos (1995)				

Tabelle 56 läßt erkennen, daß der Netto-Zuwachs an Heizungssystemen jeweils stärker als der Netto-Zuwachs an zentralen Warmwassersystemen ist. Die Zahl derjenigen Heizungssysteme, die von 1992 bis 2005 erneuert werden, wurde wie folgt errechnet:

- Die Zahl der neugebauten Wohnungen wurde mit der Beheizungsstruktur für neue Wohnungen überlagert, wobei ein Verhältnis von 25 % Ein- und Zweifamilienhäuser und 75 % Mehrfamilienhäuser unterstellt wurde.
- Für den Wohnungsbestand im Jahre 1992 wurde das Potential der von 1992 bis 2005 zu erneuernden Heizungssysteme unter der Annahme eines Erneuerungszyklus' für Heizanlagen von 20 Jahren ermittelt.

Die Tabelle 57 zeigt die Zahl derjenigen Zentralheizungssysteme, für die von 1992 bis 2005 der Einbau einer neuen Anlage notwendig wird.

Tabelle 57:

**Einbau von neuen Zentralheizungsanlagen, 1992 und 2005**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Neubau	Ersatz	Neubau	Ersatz
	Mill. Anlagen			
Fernwärme	0,25	0,53	0,05	0,25
Öl-Zentralheizung	0,51	1,67	0,27	0,07
Gas-Zentralheizung	2,78	2,50	1,06	0,16
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts				

Das Potential neuer Zentralheizungsanlagen, die in der Referenzentwicklung nicht mit zentralen Warmwasserbereitungsanlagen ausgestattet wurden, läßt sich damit auf ca. 10 Millionen Systeme beziffern.

Würde eine gesetzliche Verpflichtung (z.B. durch Aufnahme einer entsprechenden Bestimmung in die *Heizungsanlagenverordnung*) auferlegt, *alle neuen Zentralheizungsanlagen mit einer zentralen Warmwasserbereitungsanlage zu koppeln*, sind die folgenden Mechanismen zu berücksichtigen:

- Es würden weniger dezentrale Anlagen für die elektrische bzw. Erdgas-Warmwasserbereitung installiert.
- Die zusätzlichen zentralen Warmwasserbereitungsanlagen würden erstens im Regelfall einen geringeren Nutzungsgrad als dezentrale Systeme ausweisen, zweitens würde der spezifische Warmwasserverbrauch steigen (Komforteffekt).

Der Einspareffekt durch den zusätzlichen Bau von zentralen Warmwasserbereitungsanlagen ergibt sich also aus dem Effekt durch unterschiedliche Nutzungsgrade, eine abweichende Warmwasserinanspruchnahme und unterschiedliche Emissionsfaktoren.

Bei den zentralen Systemen wurde für das Jahr 2005 einheitlich ein täglicher Warmwasserverbrauch von 45 Litern und für dezentrale Warmwasserbereitungsanlagen von 38 Litern je Person unterstellt.

Die Substitution durch zentrale Warmwassersysteme wurde wie folgt geschätzt:

- Bei zentralen Fernwärme- und Ölheizungen ersetzen sie zu 100 % dezentrale Stromsysteme.
- Bei zentralen Gasheizungen ersetzen sie zu 1/3 Strom- und zu 2/3 dezentrale Gassysteme.

Als Zeitpunkt für das Inkrafttreten der Verordnung wurde ebenfalls das Jahr 1998 angenommen. Alle Ergebnisse für 2005 wurden für diesen Zeitraum proportional zum Zeitraum 1992/2005 korrigiert.

In der Tabelle 58 sind die Effekte dieser Maßnahmen auf den Energieverbrauch für die alten und die neuen Bundesländer ausgewiesen. Endenergieseitig ergibt sich daraus ein Mehrbedarf von knapp 12 PJ für die alten und etwa 2,5 PJ für die neuen Bundesländer.

Tabelle 58:

**Substitutionswirkungen einer novellierten Heizanlagenverordnung  
auf den Endenergiebedarf im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Mehrbedarf	Minderbedarf	Mehrbedarf	Minderbedarf
Energieverbrauch in PJ				
Fernwärme	2,85		1,10	
Heizöl	9,71		1,45	
Erdgas	22,14	11,10	5,03	2,52
Strom		11,77		2,60
Summe	34,70	22,87	7,58	5,12
Saldo	11,83		2,46	
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts				

Der Effekt auf die Kohlendioxid-Emissionen ist erstens von den Bedarfseffekten auf der Primärenergieseite und zweitens von den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen abhängig. Unterstellt man beim Strom (Fernwärme) für die alten Bundesländer einen spezifischen Emis-

sionsfaktor von 130 t CO<sub>2</sub> je TJ (59 t CO<sub>2</sub>/TJ) und für die neuen Bundesländer einen solchen von 300 t CO<sub>2</sub>/TJ (75 t CO<sub>2</sub>/TJ), so ergeben sich die in Tabelle 59 zusammengefaßten Effekte auf der Emissionsseite.

Tabelle 59:

**Substitutionswirkungen einer novellierten Heizanlagenverordnung  
auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Mehremissionen	Minderemissionen	Mehremissionen	Minderemissionen
CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t				
Fernwärme	0,17		0,08	
Heizöl	0,72		0,11	
Erdgas	1,22	-0,61	0,28	-0,14
Strom		-1,53		-0,78
Summe	2,11	-2,14	0,47	-0,92
Saldo insgesamt		-0,03		-0,45
dar.: Saldo bei Heizöl und Erdgas	1,33		0,25	
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts				

Unter Berücksichtigung der bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung verbuchten Emissionsänderungen ergeben sich für Gesamtdeutschland damit Minderemissionen von knapp 0,5 Mill. t CO<sub>2</sub>, wobei wegen der höheren spezifischen CO<sub>2</sub>-Belastung des Stroms der größte Teil in den neuen Bundesländern realisiert wird. Die unmittelbar beim Verbraucher entstehenden *brennstoffseitigen* Emissionen würden sich allerdings per Saldo um knapp 1,6 Mill. t CO<sub>2</sub> erhöhen.

Diese Modellrechnung gilt zunächst für eine durchgängige Gebotsregelung. Diese könnte flexibilisiert werden, indem die Verpflichtung zur Kombination einer zentralen Warmwasserbereitung an das zentrale Heizungssystem von den Emissionen abhängig gemacht würde.

Andererseits überschätzt diese Modellrechnung vermutlich den Mehrverbrauch für Erdgas, da für Gasetagenheizungen als Teil der dezentralen Warmwassersysteme ein signifikanter Mehrverbrauch durch Komforteffekte plausibel nicht unterstellt werden kann.

Letztendlich stellt die hier vorgeschlagene Verordnung ein sensibles Instrument dar, dessen Wirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen vor allem von den Veränderungen im Umwandlungssektor abhängen.

### 5.2.3.2 Maßnahmen im Bereich Elektrogeräte

Im Jahre 1992 wurden in Deutschland etwa 52 % des gesamten in den privaten Haushalten verbrauchten Stroms für elektrische Geräte verbraucht, die nicht der Raumheizung, der Warmwasserbereitung oder dem Kochen im herkömmlichen Sinne<sup>30</sup> dienen.

Für die Identifizierung von Maßnahmen in diesem Segment muß zunächst der Frage nachgegangen werden, welche Stromanwendungen in den Haushalten gut typisierbar sind und damit einen geeigneten Wirkungsraum für etwaige Instrumente darstellen.

Zu den größten Stromverbrauchern in diesem Bereich gehören Kühl- und Gefriergeräte (zusammen ca. 35 %), Beleuchtung (15 %), Waschmaschinen (14 %), Geschirrspüler sowie TV-Geräte (jeweils 6 %). Weiterhin ist zu beachten, daß in viele Geräte heute Standby-Vorrichtungen eingebaut sind, die insoweit eine eigene Verbraucherguppe bilden. Das Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik (IfS 1996) gibt hierfür einen Gesamtstromverbrauch von rund 3,7 TWh an, eine noch unveröffentlichte Arbeit im Auftrag des Umweltbundesamt schätzt den Stromverbrauch durch Standby-Betrieb (einschließlich Bereitschaftsbetrieb von Warmwasseranlagen) auf knapp 14 TWh allein in den Haushalten. Davon entfallen allein 8,1 TWh auf TV, Video- und Audio-Technik. Allein dieser Verbrauch entspräche mit ca. 12 % des Stromverbrauchs für elektrische Geräte im Jahre 1992 etwa dem Verbrauch aller Kühlschränke in Deutschland!

Als Zielbereich für eine normierende Verordnung ergeben sich vorzugsweise die Gruppen der Kühlgeräte und Waschmaschinen. Angesichts des künftig wahrscheinlich stark steigenden Anteils von Geräten mit Standby-Einrichtungen und der guten Typisierbarkeit dieser Ausrüstung wird außerdem diese Stromanwendung gesondert betrachtet.

Als Instrument soll hier eine *Elektroanwendungsverordnung* für den Haushaltsbereich betrachtet werden, die für *Neugeräte Mindeststandards* definiert sowie einen bestimmten *Höchstverbrauch für Standby* oder - alternativ - Sparschaltungen vorschreibt.

Der Wirkungsraum für dieses politische Instrument ergibt sich aus zwei Entwicklungen:

---

<sup>30</sup> Zur Verdeutlichung: Kaffeemaschinen werden nicht der Warmwasserbereitung oder dem Kochen zugeordnet.

- dem Nettozuwachs an Geräten sowie
- dem Lebensdauerzyklus (wobei hier für Großgeräte 10 Jahre angenommen werden).

Die Tabelle 60 zeigt die Bestandsentwicklung für die genannten Geräte in den alten Bundesländern.

Tabelle 60:

**Entwicklung von Ausstattungsraten und Bestand an Haushalts-Elektrogeräten  
in den alten Bundesländern, 1992 und 2005**

	Wasch- maschine	Geschirr- spüler	Kühl- schrank	Gefrier- gerät	Kühl-Gefrier- Gerät
Ausstattungsraten in %					
1992	87,7	37,1	80,6	57,2	27,7
2005	88,5	49,9	75,1	70,6	40,8
Gerätebestand in Mill. Stück					
1992	25,4	10,8	23,4	16,6	8,0
2005	27,3	15,4	23,1	21,8	12,6
Veränderung 2005/1992 in %	7	43	-1	31	57
Quellen: Prognos (1995), Berechnungen des Öko-Instituts					

Im Zeitraum von 1992 bis 2005 erfolgt damit in allen gezeigten Gerätegruppen mindestens ein Geräteaustausch oder eine Neuanschaffung.

Die Entwicklung des spezifischen Geräteverbrauchs wurde über ein Stock-Exchange-Modell ermittelt, wobei hinsichtlich der historischen Werte auf Angaben des ZVEI zurückgegriffen wurde (ZVEI 1992).

In Tabelle 61 sind Entwicklung des durchschnittlichen Stromverbrauchs für ein Neugerät im Zeitraum von 1992 bis 2005 sowie der sich daraus ergebende durchschnittliche Verbrauch des Gesamtbestandes (Flottenverbrauch) dargestellt.

Tabelle 61:

**Entwicklung des spezifischen Verbrauchs von Haushalts-Elektrogeräten  
in den alten Bundesländern, 1992 und 2005**

	Wasch- maschine	Geschirr- spüler	Kühl- schrank	Gefrier- gerät	Kühl-Gefrier- Gerät
Durchschnittsverbrauch im Bestand in kWh/a					
1992	250	360	290	500	395
2005	130	295	205	270	280
Neugeräte in kWh/a					
1992	195	346	248	438	342
2005	119	294	198	251	225
Quellen: Prognos (1995), Berechnungen des Öko-Instituts					

Als Standard für die ab 1998 geltende Verordnung wurde derjenige des Bestgerätes im Jahre 1995 definiert (NEI 1995). Zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Verordnung dürfte dieser Standard auch in der Trendentwicklung bereits von einer größeren Anzahl Geräte erreicht worden sein, denn bei linearer Fortschreibung ergibt sich aus der historischen Entwicklung eine Effizienzverbesserung von 2 bis 3 % p.a.<sup>31</sup>

Der Tabelle 62 sind die Standards für Neugeräte entsprechend der vorgeschlagenen Elektroanwendungsverordnung für Haushaltsgeräte und der sich damit ergebende Flottenverbrauch zu entnehmen.

Tabelle 62:

**Entwicklung der Höchstverbrauchsstandards für Haushalts-Elektrogeräte  
in den alten Bundesländern, 1992 bis 2005**

	Wasch- maschine	Geschirr- spüler	Kühl- schrank	Gefrier- gerät	Kühl-Gefrier- Gerät
Höchstverbrauchsstandards in kWh/a					
1998 bis 2005	115	220	153	201	177
Verbesserung in %	-3	-25	-23	-20	-21
Durchschnittsverbrauch (Flottenverbrauch) im Bestand in kWh/a					
1992	250	360	290	500	395
2005 (ohne Verordnung)	130	295	205	270	280
2005 (mit Verordnung)	115	220	153	201	207
Veränderung in %	-11	-25	-25	-26	-26
Quellen: Prognos (1995), Berechnungen des Öko-Instituts					

Für die neuen Bundesländer stellt sich die Analyse schwieriger dar, da hier keine Informationen zum Stromverbrauch von Neugeräten in der Vergangenheit vorliegen. Bei einer qualitativen Betrachtung sind zwei gegenläufige Tendenzen zu beobachten.

- Einerseits hatten (abgeleitet aus einer Analyse des Flottenverbrauchs im Jahre 1990) die Altgeräte in den neuen Bundesländern einen spezifisch höheren Stromverbrauch als in den alten Bundesländern.
- Andererseits dürfte die Rate der Neuanschaffungen bzw. des Geräteausbaus in der ersten Hälfte der 90er Jahre signifikant höher als in Westdeutschland gewesen sein.

In der Tabelle 63 sind die wesentlichen Kennzahlen für elektrische Haushaltsgeräte in den neuen Bundesländern dokumentiert:

<sup>31</sup> Von 1978 bis 1991 verringerte sich der spezifische Stromverbrauch für Waschmaschinen um 34 %, für Kühlschränke im Mittel um 30 %, für Gefrierschränke um 35 % sowie für Geschirrspüler um 38 %.



Tabelle 63:

**Entwicklung von Ausstattungsraten, Bestand an Haushalts-Elektrogeräten  
und Flottenverbrauch in den neuen Bundesländern, 1992 und 2005**

	Wasch- maschine/- trockner	Geschirr- spüler	Kühl- schrank	Gefrier- gerät	Kühl-Gefrier- Gerät
Ausstattungsraten in %					
1992	91,0	2,5	91,9	61,5	12,0
2005	96,6	23,0	70,3	66,3	39,6
Gerätebestand in Mill. Stück					
1992	3,0	0,2	6,1	4,1	0,8
2005	6,5	1,5	4,7	4,4	2,6
Veränderung 2005/1992 in %	7	829	-23	9	233
Durchschnittsverbrauch (Flottenverbrauch) im Bestand in kWh/a					
1992	390	310	300	375	350
2005	145	290	200	265	276
Quellen: Prognos (1995), Berechnungen des Öko-Instituts					

Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten wurde auf eine spezifische Modellierung für die neuen Bundesländer verzichtet und die Stromeinsparung in den alten Bundesländern proportional auf den Stromverbrauch für die genannten Gerätegruppe in Ost-Deutschland umgerechnet. In Tabelle 64 sind die Ergebnisse für die alten und die neuen Bundesländer zusammenfassend für die betrachteten Gerätegruppen dargestellt.

Tabelle 64:

**Entwicklung des Stromverbrauchs für ausgewählte Haushalts-  
Elektrogerätegruppen in den alten und neuen Bundesländern, 1992 und 2005**

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Deutschland
Stromverbrauch in TWh			
1992	29,0	6,1	35,1
2005 (ohne Verordnung)	22,7	4,3	27,0
2005 (mit Verordnung)	17,0	3,2	20,2
Veränderung 2005 in %	-25	-25	-25
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts			

Unter Ansatz eines spezifischen Emissionsfaktors von 130 t CO<sub>2</sub> je TJ in den alten und 300 t CO<sub>2</sub>/TJ in den neuen Bundesländern ergibt sich eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 3,8 Mill.t CO<sub>2</sub>.

Die Wirkung der Elektroanwendungsverordnung auf den Strombedarf durch *Standby-Einrichtungen* wurde mit einer einfachen Überschlagsrechnung bestimmt. Zunächst wurde angenommen, daß sich die Zahl der Standby-Anwendungen bis zum Jahre 2005 um 50 % erhöht, wobei hier mit Blick auf die Beiträge zum Stromverbrauch und zur Vermeidung

dung von Doppelzählungen allein TV-, Video- und Audio-Geräte bzw. Personalcomputer betrachtet werden. Durch geeignete Schaltungen kann der spezifische Stromverbrauch von Standby-Einrichtungen für diese Geräte zwischen 50 und 90 % verringert werden. Das größte spezifische Sparpotential existiert bei TV- und Video-Geräten, die gleichzeitig den größten Standby-Verbrauchsanteil repräsentieren. So kann von einem mittleren Sparpotential von 80 % ausgegangen werden. Auch ohne Inkrafttreten der Verordnung wird ein Einsatz solcher Sparschaltungen bei 30 % dieser Anwendungen unterstellt. Wird diese Umsetzungsrate durch die Verordnung auf 95 % erhöht, ergibt sich bei einem Verbrauch von 7,3 TWh im Ausgangsjahr für die wichtigsten Geräte mit Standby-Schaltungen eine Verminderung des Stromverbrauchs im Jahr 2005 von ca. 5,7 TWh (im Vergleich zur Referenz). Bei einem mittleren Emissionsfaktor für Deutschland von 173 t CO<sub>2</sub>/TJ folgt allein aus einer Verbesserung der Standby-Schaltungen eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 3,5 Mill. t.

*Insgesamt* kann damit der Elektroanwendungsverordnung für den Bereich der privaten Haushalte eine Emissionsminderung von rund 7,3 Mill. t CO<sub>2</sub> zugerechnet werden. An dieser Stelle soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Wirkungen einer solchen Verordnung natürlich prinzipiell auch durch entsprechende Vereinbarungen mit den Geräteherstellern bzw. -importeuren erzielt werden können.

Ein flankierendes Instrument für die effizientere Energienutzung in den privaten Haushalten stellt eine *Energiekennzeichnungsverordnung* für Haushaltsgeräte dar. Als informationelles Instrument bildet sie mit der genannten Verordnung ein Maßnahmenbündel und kann auch für die dort nicht erfaßten Gerätegruppen zu Verbrauchssenkungen beitragen. Eine Quantifizierung kann jedoch hier nicht erfolgen.

#### 5.2.4 Zusammenfassung

In Tabelle 65 sind die Emissionswirkungen der für die Sektoren Warmwasserbereitung und elektrische Geräte betrachteten Instrumente zusammengestellt.

Den größten Beitrag zur Emissionsminderung leistet danach die Elektroanwendungsverordnung für Haushaltsgeräte. Die Emissionsminderungen im Warmwasserbereich tragen nur zu einer leichten Verstärkung der Effekte im Anwendungsfeld Raumwärme bei.

Tabelle 65:

**Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Bereichen  
Warmwasserbereitung und elektrische Geräte bei den privaten Haushalten**

IMA-Nr.	Maßnahme/Kurzbezeichnung	Wirkungsbereich	Beginn der Wirksamkeit	Wirksamkeit im Zeitablauf	Wirkung der Maßnahme (Mill. t CO <sub>2</sub> )	Wirkung gegenüber Referenz (Mill. t CO <sub>2</sub> )
<b>Bereits wirkende Maßnahmen</b>						
4	Abschaffung der Leuchtmittelsteuer	Hier: Stromverbrauch Haushalte			keine Quantifizierung	
30	Novellierung der Heizanlagenverordnung	Hier: Zentrale Warmwasserbereitung durch Öl- und Gasheizungen	06/1994	abnehmend	0,6	-
<b>Weitere in Betracht gezogene Maßnahmen</b>						
	Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung	Hier: Zentrale Warmwasserbereitung durch Öl- und Gasheizungen	1998	abnehmend	-	0,2
	Energieverbrauchs-Kennzeichnungsgesetz	Hier: Elektrische Geräte	1997	konstant	keine Quantifizierung	
	Konsumgüterverordnung = Elektroanwendungsverordnung für Konsumgüter	Hier: elektrische Haushaltsgeräte: Kühlen, Gefrieren, Waschen, Geschirrspülen, Standby	1998	abnehmend	-	7,3 <sup>1)</sup>
	Novellierung der Heizanlagenverordnung	Hier: Anschlußpflicht für zentrale Warmwasserbereitung bei Zentralheizung mit Fernwärme, Öl oder Gas	1998	konstant	-	0,5 <sup>2)</sup>
<sup>1)</sup> CO <sub>2</sub> -Reduktion nur durch Stromeinsparungen (wird bei Stromerzeugung berücksichtigt). - <sup>2)</sup> Saldo aus strom- und fernwärmeseitigen Minderemissionen (rund 2,1 Mill.t CO <sub>2</sub> ) und brennstoffseitigen Mehrmissionen (knapp 1,6 Mill.t CO <sub>2</sub> ). Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts						

### 5.2.5 Literatur zum Kapitel 5.2

ebök (Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte) (1997): Klimaschutz durch Minderung von Leerlaufverlusten bei Elektrogeräten. Sachstand/Projektionen/CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale, unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Tübingen.

IfS (Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik) (1996): Perspektiven eines Umweltzeichens für Elektro- und Elektronikgeräte im Haushalt, UBA-Texte 42/96, Berlin.

NEI (Niedrig-Energie-Institut) (1995): Besonders sparsame Haushaltsgeräte 1995, Detmold.

Prognos (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa, Perspektiven bis zum Jahr 2020, Basel.

ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) (1992): Entwicklung des Stromverbrauchs von Elektro-Hausgeräten 1988-1991, Frankfurt a.M.

## 6 Zusammenfassung der Maßnahmen<sup>32</sup>

In den vorstehenden Kapiteln sind die Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die

- auf Bundesebene in der Vergangenheit (bis Mitte 1996) bereits ergriffen worden sind,
- die von der Bundesregierung derzeit vorgesehen werden oder
- die als zusätzliche Maßnahmen in Betracht gezogen werden könnten,

sektor- oder bereichsspezifisch vorgestellt und in ihren Wirkungen analysiert worden. Im weiteren werden die für die einzelnen Sektoren berücksichtigten Maßnahmen mit ihren Emissionsreduktionswirkungen - ohne nochmalige Kommentierung - zusammenfassend aufgelistet. Dabei handelt es sich um die folgenden Tabellen:

- Tabelle 66: Industrie und Kleinverbraucher (Blätter 1 bis 5)
- Tabelle 67: Haushalte-Raumwärme (Blätter 1 und 2)
- Tabelle 68: Haushalte-Warmwasser/Elektrogeräte
- Tabelle 69: Verkehr (Blätter 1 und 2)
- Tabelle 70: Erneuerbare Energiequellen
- Tabelle 71: Stromerzeugung
- Tabelle 72: Fernwärmeerzeugung

Zum jeweiligen methodischen Vorgehen bei der Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Minderungswirkungen sei auf die vorhergehenden Kapitel verwiesen. Erinnert sei noch einmal daran, daß die in den nachstehenden Übersichten ausgewiesenen maßnahmenspezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkungen nicht unmittelbar addiert werden können, da sich die Maßnahmen teilweise überlappen oder alternativ zueinander zu verstehen sind.

Aussagen zu den - um derartige Effekte bereinigten - Summenwirkungen werden bei der Beschreibung der drei Szenarien im Abschnitt III, Kapitel 3, getroffen.

---

<sup>32</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

Tabelle 66:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher: Blatt 1

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
29	Novellierung der WärmeschutzVO	Ordnungsrecht	Die Novellierung reduziert im Durchschnitt den Heizwärmebedarf um etwa 30%, im wesentlichen bei Neubauten; in Kraft seit 1.1.1995. Berechnet über Annahmen zum Neubau und Abriss sowie Grundsanierung von Gebäuden in beiden Sektoren.	Industrie Kleinverbr.	ergriffen	200 800	400 1600
30	Novellierung der HeizanlagenVO	Ordnungsrecht	Höhere Effizienzanforderungen an neue Kessel und Brenner; Haupteffekt durch Kessel- und Brennersubstitutionen; in Kraft seit 1.6.1994. CO <sub>2</sub> -Minderung berechnet über Annahmen zu Kesselsatzinvestitionen, Brennwirkungsanteilen und Einspareffekten.	Industrie Kleinverbr.	ergriffen	300 1200	600 2400
101	Novellierung 1. BImSchV-KleinfeuerungsanlagenVO	Ordnungsrecht	Alte Grenzwerte für Abgasverluste nach Nennwärmeleistungsklassen: 11 % (4-25 kW); 10 % (25-50 kW); 9 % (50-1000 kW); Novellierung erfolgt ab 1997 mit jeweils um 2%-Punkten verbesserten Anforderungen; weiterhin Prüfung durch Schornsteinfeger. Berechnet mit den geforderten Wirkungsgradverbesserungen.	Industrie Kleinverbr.	ergriffen	50 150	100 300
13	Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung	Preispolitik	Erweiterung der schon seit 1978 geltenden Steuerregelungen für Diesel als Kraftstoff zur Strom- und Wärmeerzeugung in verbrennungsmotorisch betriebenen BHKW auf solche Anwendungen der Kraft-Wärme-Kopplung, denen ein Teil der zugeführten Brennstoff in Wärme, der andere Teil jedoch nicht in Strom, sondern direkt in mechanische Energie umgewandelt wird (stationäre Verbrennungsmotoren mit Direktantrieb). Die steuerliche Neuregelung ist notwendige Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb derartiger KWK-Anwendungen; der zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderungseffekt ist jedoch aufgrund der sehr begrenzten Anwendungsmöglichkeiten dieser Technik und die Notwendigkeit, die gleichzeitig anfallende Wärme sinnvoll zu nutzen, nur schwer abschätzbar und vermutlich sehr gering.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	gering (< 100)
7	ERP-Energiesparprogramm	Subventionen	Teilprogramm des ERP-Umweltprogramms. Bereitstellung zinsgünstiger Darlehen (bis zu 50 % der förderfähigen Investitionskosten, max. 1 Mill. DM) mit langer Laufzeit (10-15 a) und tilgungsfreien Anlaufjahren zur Förderung der rationellen Energieverwendung und der Nutzung erneuerbarer Energien (Kreditvolumen 1995: 1,8 Mrd. DM). Dadurch Anstoß zusätzlicher Investitionen in REN und REG. Effekt ohne empirische Erhebung quantitativ kaum abschätzbar. Wirkung der Förderprogramme auch als flankierende Maßnahme der Information und Motivation zu bewerten.	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	gering	mittel
71	Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen	Subventionen	Gewährung von Investitionskrediten für Umweltschutzmaßnahmen mit Demonstrationscharakter (u.a. für rationelle Energienutzung und erneuerbare Energien) aus Mitteln der KfW- oder DfA-Umweltprogramme, die durch Zins- oder Investitionszuschüsse des BMU verbilligt werden. Hauptwirkung der Maßnahme liegt in der Initialwirkung für potentielle Nachahmer solcher Vorhaben (Wirkung derzeit nicht quantifizierbar).	Industrie, Kleinverbrauch	ergriffen	sehr gering	sehr gering
72	KfW-Umweltprogramm	Subventionen	Bereitstellung zinsgünstiger Kredite (i.d.R. bis maximal 10 Mill. DM) mit langer Laufzeit und tilgungsfreien Anlaufjahren für Investitionen, die die Umweltsituation wesentlich verbessern (u.a. Maßnahmen zur rationellen Energieanwendung und zum Einsatz regenerativer Energien); gesamtes Kreditvolumen in 1994 rund 460 Mill. DM. Wirkung vergleichbar mit ERP-Energiesparprogramm, jedoch mengenmäßig geringer (s.o.).	Industrie, Handel, Gewerbe	ergriffen	sehr gering	gering
73	DfA-Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank	Subventionen	Gewährung von zinsgünstigen Krediten für Vorhaben, die den Zielsetzungen des ERP-Umweltprogramms entsprechen. Bei Kombination mit dem ERP-Umweltprogramm Finanzierung bis 75 % der Investitionskosten, max. 10 Mill. DM. Das Kreditvolumen für REN- und REG-Maßnahmen lag 1995 bei knapp 600 Mill. DM. Wirkung ähnlich wie beim ERP-Energiesparprogramm, jedoch geringer.	Industrie, Handel, Gewerbe	ergriffen	sehr gering	gering
74	Umweltschutzbürgschaftsprogramm	Subventionen	Haftungsfreistellung (80 % des Darlehensbetrages) für Investitionen in neue Umweltschutztechniken mittels DfA-Darlehen; Höhe der Bürgschaften derzeit ca. 6 Mill. DM. Zu werten als ergänzende Maßnahme zu den DfA-Umweltdarlehen, die die Durchführung derartiger Investitionen für kleine und mittlere Unternehmen erleichtert.	Industrie, Handel, Gewerbe	ergriffen	sehr gering	gering

noch Tabelle 66:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher: Blatt 2

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
41 bis 49	4. Programm Energieforschung und -technologie	F&E	Das vierte Energieforschungsprogramm konzentriert sich bei der Effizienzverbesserung auf Feuerungstechnik, neue effiziente Energiewandler und rationelle Energienutzung (165 Mill. DM/a), bei den CO <sub>2</sub> -freien Energiewandlern und auf erneuerbare Energiequellen (220 Mill. DM/a) und Kernenergie (190 Mill. DM/a). Quantitative Schätzungen zu den Wirkungen sind nicht durchgeführt worden.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	k.A.	mittel
40	Umwelttechnik und neue physikalische Techniken	F&E	MaTeo-Forschungsprogramm des BMBF mit rd. 300 Mill. DM/a, insbesondere im Bereich extrem belastbarer und langlebiger Werkstoffe sowie leichter Werkstoffe. Programm für physikalische und chemische Technologien mit rund 500 Mill. DM/a, insbesondere Katalysatoren, Supraleitung, Dünnschicht, Plasma- und Laser-Technik.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	k.A.	mittel
	Bauforschungsprogramm	F&E	Passiv- und Niedrigenergiegebäude, Ressourceneinsparung und Kostensenkung beim Bauen, Recycling von Baustoffen.	Kleinverbr.	ergriffen	k.A.	mittel
116	EG-Umwelt-Audit (EMAS)	Information, Beratung, Fortbildung	Freiwillige Zertifizierung gewerblicher Unternehmen mit Verpflichtung zu kontinuierlicher Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes. Energiespezifischer Teil legt Berücksichtigung von Energiemanagement, -einsparungen und Auswahl von Energiequellen im Rahmen der (unternehmerischen) Umweltpolitikprogramme sowie bei der Formulierung von Umweltzielen und der Evaluierung von Umsetzungsmaßnahmen fest. Zertifizierung kann Marktvorteile bringen, da sie Umweltengagement kommunizierbar macht und die gestellten Anforderungen Basis für Kosten- und Risikominderung sein können.	Industrie, z.T. Kleinverbr.	ergriffen	gering	gering
88	Umweltzeichen	Information, Beratung, Fortbildung	Erweiterter Einsatz des seit 1977 bestehende Umweltzeichens (blauer Engel) auf Produkte zur rationalen Energienutzung und zur Nutzung erneuerbarer Energien.	Industrie, z.T. Kleinverbr.	ergriffen	gering	gering
8	Förderung von Energiesparberatung in KMU	Information, Beratung, Fortbildung	Zuschüsse im Rahmen des Unternehmensprogramms des Bundes in Höhe von 40% der Beratungskosten, höchstens 3.000,- DM. Die Höhe der Zuschüsse und die Vergabe-nichtlinien wurden inzwischen leicht modifiziert (vgl. IMA-Maßnahme Nr. 78).	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	gering	gering
78	Förderung von Umweltschutz- und Energieberatung in KMU	Information, Beratung, Fortbildung	Zuschüsse im Rahmen des Unternehmensprogramms des Bundes in Höhe von 50% der Beratungskosten, max. 4.000,- DM. Vorgabe von Umsatzhöchstgrenzen für Empfänger. Laut Evaluierung (1990) bei Zielgruppen wenig bekannt; bisher niedrige und rückläufige Zahl an Beratungsfällen; relativ hohe Mitnahmeeffekte; Inanspruchnahme ist bei kleinen Betrieben geringer.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	gering	gering
79	Orientierungsberatung	Information, Beratung, Fortbildung	Beratung für KMU in den jungen Bundesländern über umweltrechtliche Anforderungen. Zuschüsse in Höhe von 65% der Beratungskosten, höchstens jedoch 3.400,- DM. Das Programm endete am 31.10.1994, Maßnahme ist nicht energiespezifisch angelegt.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	sehr gering	sehr gering
69	Verbesserung Aus-/ Fortbildung von Arch., Ingenieuren, Technikern, Handwerkern	Information, Beratung, Fortbildung	Ausarbeitung von Bausteinen für die Fortbildung für die Fortbildung von Architekten, Ingenieuren und Handwerkern im REN und REG-Bereich mündete im März 1996 in der Herausgabe eines Fachbuchs durch Bund und Bundesarchitektenkammer i.H.v. CD-Rom mit didaktisch verwertbarem Material und in Fortbildungsunterlagen des Zentralverbandes des Deutschen Bau-gewerbes. Weitere Maßnahmen für die Diffusion des Wissens/des didakt. Materials nicht vorgesehen.	Industrie, Kleinverbr.	ergriffen	gering	gering
110	Erklärung der deutschen Industrie	Selbstverpflichtungen	13 Industrieverbände und der BDI erklärten am 27. März 1996, die CO <sub>2</sub> -Emissionen dieser Industriezweige von 1990 bis 2005 um etwa 52 bis 58 Mill. t zu reduzieren. Hierin enthalten sind die strukturellen Veränderungen in Industrie und bei den Brennstoffen, Trendeinsparungen bei Reinvestitionen und Wirkungen von Maßnahmen Dritter. Unreiner Effekt auf 25 %, d.h. auf 14 Mill. t CO <sub>2</sub> geschätzt.	Industrie	ergriffen	8000 <sup>1)</sup>	14000 <sup>1)</sup>
110	Erklärungen der drei Energiewirtschaftsverbände BGV, VKU, MWV	Selbstverpflichtungen	Die drei Verbände erklärten für ihre Kundengruppe eine CO <sub>2</sub> -Minderung von 1990 - 2005 um je 25 %. Die Über-lappungen der Bruttoziele sind sehr hoch (ca. 25 Mill. t). Der ureigene Effekt wird auf 25 %, also auf rund 6 Mill. t CO <sub>2</sub> geschätzt.	Kleinverbr.	ergriffen	4000 <sup>1)</sup>	6000 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Strom-einsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Strom-einsparungen.

noch Tabelle 66:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher: Blatt 3

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
90	Wärmenutzungs-VO	Ordnungsrecht	Vorgeschriebene Energieflußanalysen in Betrieben; Energie-bench-marking durch Wirtschaftsverbände/ Brancheninstitute; Wirkungsgrad-Nachweise ausgewählter Anlagen Abschätzung über betriebsinterne und -externe Abwärmenutzung (betriebsintern 4 - 5 Mill. t, betriebs-extern in der Industrie genutzt 2 Mill. t sowie im Kleinver-bruch ca. 3 Mill. t)	Industrie	vorge-schlagen	1000	6500
				Kleinverbr.		200	3000
	Elektroanwendun-genVO	Ordnungsrecht	Mindestjahresnutzungs- oder Wirkungsgrade von in Großserien produzierten Elektromotoren und von ihnen betriebenen Komponenten (z.B. Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren). Berechnungen anhand von Daten der IKARUS-Datenbank und eigener Schätzungen.	Industrie	vorge-schlagen	100 <sup>2)</sup>	1500 <sup>2)</sup>
				Kleinverbr.		0	500 <sup>2)</sup>
	Novellierung der WärmeschutzVO für Gebäudebe-stand in Industrie und Kleinver-bruch (analog IMA-Nr. 102)	Ordnungsrecht	Erweiterung der WärmeschutzVO auf gewerblich genutzte und öffentliche Gebäude: * Austausch der Einzelscheiben-Fenster durch Wärme-schutzverglasung bei Gebäuden mit Raumtemperaturen > 18°C bis 2010 * dito bei Gebäuden mit T <sub>R</sub> 10°C bis 18°C bis 2015 * Verbesserung des Wärmeschutzes auf den jeweiligen Stand der VSchVO für Neubauten bei Fassaden- und Dachsanierungen von Gebäuden mit Raumtemperaturen > 18°C bis 2020 * dito bei Gebäuden mit T <sub>R</sub> 10°C bis 18°C bis 2025 Berechnungen anhand geschätzter Energieeinsparun-gen für die einzelnen Komponenten/Gebäudebereiche	Industrie	vorge-schlagen	100	1000
				Kleinverbr.		500	5000
	Gebäudevermietungs- und -ver-kaufsVO	Ordnungsrecht	Vorlage eines Wärmebedarfsausweises mit Energiekenn-zahlen seitens des Gebäudeeigners bei Mietvertrags-abschluß/-verlängerung sowie Gebäudeeignerwechsel, ab 1998, Ausweitung der SAVE-Richtlinie 93/76/EWG. Schätzung	Industrie	vorge-schlagen	0	100
				Kleinverbr.		100	500
	GrundsteuerVO	Ordnungsrecht	Erhöhte Grundsteuerzahlungen für Gebäude, die eine bestimmte Energiekennzahl zu einem bestimmten Zeitpunkt übersteigen, ab 1999, Grobe Schätzung	Kleinverbr.	vorge-schlagen	100	500
	Neuverhandlung der Verbandsvereinbarung	Preispolitik	Verbesserung der in der bisherigen Verbandsvereinbarung zwischen BDI, VDEW und VIK eher ungünstigen Rahmenbedingungen für KWK durch eine Neuverhandlung mit Zielrichtung einer Orientierung an den langfristi-gen Grenzkosten und voller Berücksichtigung der statisch anrechenbaren Leistung dezentraler Stromeinspei-ler und der vermiedenen Verluste auf Hochspannungs-ebene. Quantitative Wirkung abhängig von genauer Spezifikation; bei einem Potential von 30 PJ/a errechnet sich eine vermiedene CO <sub>2</sub> -Menge von ca. 2,4-3,5 Mill. t	Industrie, Kleinver-bruch	vorge-schlagen	>100 <sup>1)</sup>	2400 bis 3500 <sup>1)</sup>
	Angebot der öffentlichen Stromversorgung von "grünem" Strom	Preispolitik	Angebot eines Strompreistarifs von "grünem" Strom, der aus einem Mix von Windenergie, Wasserkraft sowie GuD- und gasbetriebenen KWK-Anlagen stammt und einen - gegenüber heutigen 19 bis 23 DPf/kWh - um 10 bis 12 DPf/kWh höheren Durchschnittspreis hätte. Quantitative Wirkung dieser Maßnahme ist abhängig von der Bereitschaft der Stromverbraucher, einen solchen Tarif zu wählen. Würde 1 % des Strombedarfs von Indus-trie und Kleinverbrauch durch grünen Strom gedeckt, so entspräche dies einer CO <sub>2</sub> -Minderung von etwa 2 Mill. t bis 2005; zugleich Einsparung bei Strom.	Industrie, Kleinver-bruch	vorge-schlagen	300 <sup>2)</sup>	1000 bis 1500 <sup>2)</sup>
	Förderung eines zweiten Kapitalmarktes	Subven-tionen	Verbesserung der bankrechtlichen Rahmenbedingungen für schon existierende Initiativen, günstiges Finanzkapital für klimarelevante Vorhaben bereitzustellen sowie steuerliche Anreize für Kapitalgeber. Zusätzlich oder alternativ: "Selbstverpflichtung der Banken", zweckge-bundene zinsverbilligte Kredite für REG- und REN-Inve-stitionen zu vergeben. Wirkung der Maßnahmen abhän-gig vom Durchsetzungsgrad bei Kreditgebern (Akzep-tanz einer etwas geringeren Verzinsung). Annahme: Zusätzliche REN-Investitionen von ca. 1 Mrd. DM bewir-ken eine CO <sub>2</sub> -Minderung bis 2005 von etwa 1 Mill. t.	Industrie, Handel, Gewerbe	vorge-schlagen	200 <sup>1)</sup>	1000 <sup>1)</sup>
	Verbesserung der Kreditprogramme ERP, DA und KfW	Subven-tionen	Erweiterung des Kreditvolumens auf das Dreifache der heutigen Förderung, Erhöhung der Zinsdifferenz zum Kapitalmarktzins und verbessertes Marketing für die För-derprogramme, dadurch entscheidende Rentabilitätsver-besserungen für Investitionen in rationelle Energie-nutzung	Industrie, Handel, Gewerbe	vorge-schlagen	gering	mittel

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromeinsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromeinsparungen.

noch Tabelle 66:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher: Blatt 4

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
	F&E in den Bereichen Energieforschung, Materialien, phys. und chem. Technologien, Bauforschung	F&E	Verdoppelung des jeweiligen Forschungsbudgets in den relevanten Themenfeldern der Energieanwendung, erhebliche Beschleunigung des energietechnischen Fortschritts und günstiger Kostenverhältnisse; 2000 noch nicht wirksam, aber ab 2005 als Potential um 0,5 bis 1 % Energieeinsparung zusätzlich, davon ca. 30 % Strom.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	sehr gering	3000 bis 5000 <sup>1)</sup>
105	Verbesserung der beruflichen Bildung	Information, Beratung, Fortbildung	Vgl. auch IMA-Nr. 69. Angestrebte Ergänzung der Rahmenverordnung der Berufsausbildung sowie Fort- und Weiterbildung um REN- und REG-Know-How ist wenig konkretisiert und schwer identifizierbar.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	gering
	Information und Motivierung von Industrie und Kleinverbrauch	Information, Beratung, Fortbildung	Verbesserung des schriftlich verfügbaren Materials (z.B. in Form von ständig aktualisierten Handbüchern); Informationsangebote zur Steigerung des Kenntnisstandes und der Motivation, die trotz Zeitmangel und Desinteresse wahrgenommen werden, d.h. vor allem: Artikel zum Thema in regelmäßig gelesenen Fachzeitschriften und Mitteilungsblättern von Verbänden; Kurzreferate auf Verbandstagungen, Schulung des Personals vor Ort zur Durchführung einfacher organisatorischer Maßnahmen; Praxisberichte über Erfolgsbeispiele. Geeignet als Wegbereiter und Begleitmaßnahme z.B. für ordnungs- oder steuerrechtliche Maßnahmen	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	gering
	stärkere Normierung und Forderung des EG-Umwelt-Audit	Information, Beratung, Fortbildung	Stärkere Normierung, v.a. für Umweltmanagementsystem und Umweltziele (z.B. Forderung der Angabe von CO <sub>2</sub> -Emissionen (bzw. -Äquivalente) und -Minderungszielen). Dadurch Standardisierung und Erleichterung der Einführung von Managementsystemen, Transparenz und erhöhte Vergleichbarkeit der zertifizierten Betriebe. Steigerung der Markchancen für zertifizierte Betriebe durch Öffentlichkeitsarbeit und Public Procurement-Programme, d.h. Forderung des Zertifikats für Lieferanten öffentlicher Einrichtungen/Verwaltungen; Ausdehnung auf nicht-gewerblichen Bereich (Handel, öffentliche Dienstleistungsunternehmen); obligatorische statt freiwillige Teilnahme	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	mittel
	Energiekennzahlen für Gebäude	Information, Beratung, Fortbildung	Nach dem Vorbild der Schweizerischen SIA 380/4 werden genormte Berechnungsvorschriften für den Energiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden (und Wohngebäuden) v.a. auch im Altbau eingeführt. Die Nebenkosten des Gebäudes schlagen sich dadurch in seinem Werte nieder	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	gering
	Optimiertes Beratungsangebot mit Bundes-Energie-Agentur	Information, Beratung, Fortbildung	Kostenlose Initialberatung v.a. für KMU und NBL zur Überwindung von Desinteresse und Minderung des finanziellen Risiko; Aktive Vermarktung der Beratungsleistungen; Höhere Zuschüsse für Kleinbetriebe (70 bis 80 % der Beratungskosten); Anreize/Motivierung zur Umsetzung der Beratungsergebnisse. Einrichtung einer Bundesenergieagentur mit u.a. folgenden Aufgaben: Gewährleistung der Kontinuität und Glaubwürdigkeit der Bereitstellung eines Beraterverzeichnis inklusive Qualifikationsangaben und Referenzlisten; neutrale Leistungsvergleiche von Massenprodukten der Energiesparteknik Ziel: Beratung als Einstieg für weitere Maßnahmen (z.B. für ordnungs- oder steuerrechtliche Maßnahmen); Erreichung bisher inaktiver Betriebe	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	mittel

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Strom einsparungen. <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Strom einsparungen.



noch Tabelle 66:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher: Blatt 5

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Beschreibung und Wirkungsweise der Maßnahme	Sektor	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
						2000	2005
	Bundesweites Impulsprogramm	Information, Beratung, Fortbildung	Impuls-Programm nach Schweizer Vorbild und aufbauend auf schon bestehenden Impulsprogrammen einzelner Bundesländer. Inhaltliche Ausarbeitung auf Bundesebene auf hohem didaktischen Niveau mit stringenter Qualitätssicherung; Vermarktung und Organisation der Durchführung auf Länderebene mit breit angelegter Kooperation, z. B. mit bestehenden Weiterbildungseinrichtungen; umfassende Abdeckung aller relevanten Zielgruppen (Baufachleute gewerkeübergreifend: Anlagenbauer, Anwender auf Nachfrageseite, Module für die Erstausbildung) und gezielte Abstimmung auf ihren Know-How-Bedarf (branchen- und technikspezifische Themen, Marketing-Know-how). Dadurch beschleunigte Diffusion praxisnahen Wissens und wechselseitige Verstärkung der Effekte durch Wissensvermehrung auf Angebots- und Nachfrageseite. Effizienzgewinne gegenüber separater Erarbeitung der Kurse auf Länderebene.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	gering	mittel
106	Förderung von (Information über) Contracting	sonstige	Forcierung von Contracting im öffentlichen Sektor gemäß EU-SAVE-Richtlinie. Konkretisierungs-/Ergänzungsvorschlag: Förderung von Contracting auch in der privaten Wirtschaft; Motivationsreferate über gefungene Contracting-Vorhaben auf Verbandsveranstaltungen als Beispiele für die betreffende Branche; Demonstrations-Contracting-Modelle an öffentlichen Gebäuden; rechtliche "Experimentierklauseln"; Bezuschussung von Geschäftsfeldanalysen von Contractinggebern im Energienutzungsbereich (z.B. Gebäudesanierung). Dadurch Erweiterung des Contracting-Marktvolumens von ca. 2 Mrd. DM bis 2005 auf ca. 3 Mrd. DM.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	400 <sup>1)</sup>	1000 <sup>1)</sup>
	Erklärung des ZVEI und VDMA zu Elektroanwendungen	Selbstverpflichtungen	Mindestjahresnutzung- oder -wirkungsgrade von in Großserien produzierten Elektromotoren und von ihnen betriebene Komponenten (z.B. Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren). Alternative zur ElektroanwendungsVO.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	100 <sup>2)</sup> 0	1500 <sup>2)</sup> 500 <sup>2)</sup>
	Erweiterte Erklärung des BDI und der drei Energie-wirtschafts-verbände	Selbstverpflichtungen	Selbstverpflichtungen der Verbände und Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und des Bergbaus, die Verbesserungen und Erweiterungen auf weitere Branchen im März 1996 werden in 1998 fortgesetzt und erfassen ab März 1998 alle Industriebranchen mit strikteren Zielen für 2005 und 2010. Die Zielvorgaben basieren zusätzlich auf dem Jahr 1995, um die besonderen Anstrengungen deutlich zu machen.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	1000 bis 3000 <sup>1)</sup>	3000 bis 7000 <sup>1)</sup>
	Erweiterte Erklärung des VIK	Selbstverpflichtungen	Selbstverpflichtung des VIK: CO <sub>2</sub> -Minderungsbeitrag durch Vereinbarung Kooperative KWK; aktivere Initiierung von Gemeinschaftskraftwerken; Verstärkung der Seminare, Energie-Audit-Leitfaden und Beratung.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	800 <sup>1)</sup>	1000 <sup>1)</sup>
<b>Regionale Akteure</b>							
	Landes- und Städteaktivitäten	verschiedene	Die Bundesländer fordern die rationelle Energienutzung durch eine Reihe von Instrumenten, insbesondere durch Information und ihre Energieagenturen, mit Blickwinkel auf kleine und mittlere Unternehmen in Gewerbe, Industrie, Handwerk und Handel. Sie haben sich z.T. auch für ihren eigenen Gebäudebestand zu Maßnahmen entschlossen (Klimastädtebündnis; I.C.L.E.I.). Erhebungen über die Wirkungen liegen kaum vor. Schätzung der CO <sub>2</sub> -Minderungen, je nach Ernsthaftigkeit der Erklärungen der Klimabündnisstädte.	Industrie, Kleinverbrauch	laufend	2000 bis 5000 <sup>2)</sup>	5000 bis 15000 <sup>2)</sup>
	Landes- und Städteaktivitäten	verschiedene	Die Initiativen auf Bundesländerebene werden intensiviert und ausgebaut. Die übrigen Städte schließen sich dem Klimabündnis an; alle Städte verfolgen eine intensive Energieeffizienzpolitik und -soweit sinnvoll - die Substitution von Strom durch Erdgas sowie die Nutzung der erneuerbaren Energien.	Industrie, Kleinverbrauch	vorge-schlagen	1000 bis 2000 <sup>2)</sup>	5000 bis 7000 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Einschl. CO<sub>2</sub>-Minderung durch Stromersparungen - <sup>2)</sup> Nur CO<sub>2</sub>-Minderungen durch Stromersparungen.

Tabelle 67:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Haushalts-Raumwärmebereich: Blatt 1

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
29	Novellierung der WärmeschutzVO	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trat am 1.1.1995 in Kraft.</li> <li>- Bei Neubauten wird Absenkung des Heizwärmeverbrauchs um ca. 30 % erwartet.</li> <li>- Verschärfter Wärmeschutz am Gebäudebestand bei größeren Renovierungsmaßnahmen</li> </ul>	ergriffen	2500	5000
30	Novellierung der HeizanlagenVO	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seit 1.6.1994 in Kraft.</li> <li>- Umsetzung der EG-Heizkesselrichtlinie.</li> <li>- Verschärfte Anlagenanforderungen.</li> </ul>	ergriffen	3000	6100
31	Vor-Ort-Beratung	Information	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beratung zur rationellen Energieverwendung in Wohngebäuden.</li> <li>- Wärmeschutz, Heizungsanlagen und regenerative Energien.</li> <li>- Für Gebäude mit Baugenehmigungen vor dem 1.1.1984</li> </ul>	ergriffen	100	100
32	Fördergebietgesetz gemäß Steueränderungsgesetz 1991 und Standorticherungsgesetz 1993	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei Nichtwohngebäuden und vermieteten Wohngebäuden können 50 % der Modernisierungsaufwendungen abgeschrieben werden.</li> <li>- Bei selbstgenutzten Wohngebäuden können jährlich 10 % der Modernisierungsaufwendungen (max. 40 TDM) abgeschrieben werden.</li> </ul>	ergriffen	keine Angaben	
33	KfW-Wohnraummodernisierungsprogramm neue Bundesländer	Subventionen	Zinsvergünstigte Darlehen zur Modernisierung. Im Oktober 1990 mit 10 Mrd. DM aufgelegt, inzwischen auf 60 Mrd. DM aufgestockt.	ergriffen	6200	6200
34	Gemeinschaftswerk Aufschwung Ost	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonderprogramm bis Ende 1992.</li> <li>- 20 % Zuschüsse zu Heizungsmodernisierung, Wärmedämmung und sonst. Spämaßnahmen, 1,5 Mrd. DM.</li> </ul>	ergriffen	1400	1400
35	Förderung des sozialen Wohnungsbaus	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modernisierung + Instandhaltung können in den neuen Bundesländern aus Mitteln des sozialen Wohnungsbaus (1 Mrd. DM/a) gefördert werden.</li> <li>- Seit dem Wohnungsbauförderungsgesetz 1994 auch in den alten Bundesländern möglich.</li> </ul>	ergriffen	300	700
36	Experimenteller Wohnungs- und Städtebau ExWoSt-Forschungsfeld	Forschung und Entwicklung	Modellvorhaben zur CO <sub>2</sub> -Minderung bei Siedlungsneubau und Erneuerung	ergriffen	keine Angaben	
37	Investitionserleichterungs-/Wohnbaulandgesetz	Ordnungsrecht	Entlastung von Zulassungs- und Genehmigungsverfahren durch Novellierung des § 8a des Bundesnaturschutzgesetzes	ergriffen	keine Angaben	
38	Verminderung von Investitionshemmnissen im Wohnungsbau in der ehemaligen DDR bei ungeklärten Eigentumsverhältnissen	Ordnungsrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch die Grundmietverordnungen sowie das Alt-schuldenhilfegesetz ist die Liquidität der Wohnungsunternehmen gestärkt worden.</li> <li>- Gefängere Zurückhaltung der Wohnungsunternehmen bei der Inanspruchnahme von Fördermitteln zur Modernisierung und Instandhaltung</li> <li>- Investitionshemmnisse wurden durch Vermögensgesetze und Vermögensgesetzänderungen abgebaut.</li> </ul>	ergriffen	keine Angaben	
39	Information für Bauherren, Architekten, Planer, Ingenieure, Handwerker	Information	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energiesparbuch und Modernisierungseleitfaden</li> <li>- Muster- Leistungsbeschreibungstexte für Instandsetzung und Modernisierung</li> </ul>	ergriffen	keine Angaben	
101	Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO (1. BImSchV)	Ordnungsrecht	Anpassung der höchstzulässigen Abgasverluste bei Kleinf Feuerungsanlagen an den Stand der Technik	ergriffen	400	700
103	Privilegierung von erneuerbaren Energien im Baugesetzbuch	Ordnungsrecht	Der Bundestag hat am 23.6.1994 eine Ergänzung des Baugesetzbuches beschlossen, wonach Windkraftanlagen und sonst. erneuerbarer Energien privilegiert werden	ergriffen	keine Angaben	
104	Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis für erneuerbare Energien	Ordnungsrecht	Die Bundesregierung will eine Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis zwischen den Ländern und die Beseitigung von Rechtsunsicherheiten vorantreiben.	ergriffen	keine Angaben	
111	Förderprogramm zur Energieeinsparung bei Altbauten in den alten Bundesländern	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Förderprogramm für die Jahre 1996 - 2000.</li> <li>- Zinsgünstige Darlehen 1996 in Höhe von 1 Mrd. DM.</li> <li>- Insgesamt sollen Investitionen von 10 Mrd. DM zur energetischen Verbesserung angestoßen werden.</li> </ul>	ergriffen	1900	1900
115	Ökozulagen bei der Wohneigentumsförderung	Subventionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ab Januar 1996 wird eine zusätzliche Niedrigenergiehauszulage sowie Zulagen für Wärmepumpen, Solar-kollektoren und Wärmerückgewinnung gewährt</li> </ul>	ergriffen	400	400

noch Tabelle 67:

**Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im Haushalts-Raumwärmebereich: Blatt 2**

Nr.	Maßnahme	Art des Instrument	Wirkungsweise	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
102	Instrumente zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand	Ordnungsrecht	Die Bundesregierung prüft, ob und mit welchen Instrumenten eine Beschleunigung der Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand erreicht werden kann.	vorgeschlagen	4600	11400
	Verschärfte WärmeschutzVO	Ordnungsrecht	Verschärfung der WSchV95 für Neubauten vom Jahr 2000 an um ein Drittel	vorgeschlagen	0	3800
	Gebäudevermietungs- und VerkaufsVO	Ordnungsrecht	Energetisches Gutachten bei Neuvermietung bzw. Verkauf	vorgeschlagen	400	1000
	Grundsteuer VO	Ordnungsrecht	Energiekennzahl für Gebäude sowie erhöhte Grundsteuer bei schlechten Energiekennzahlen	vorgeschlagen	400	1000
	Förderung des Erdgasansatzes	Subventionen	sektorübergreifend	vorgeschlagen	1300	3100

Tabelle 68:

**Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im Haushaltsbereich: Warmwasser/Elektrogeräte**

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsbereich	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
4	Abschaffung der Leuchtmittelsteuer	Preispolitik	Nichtdiskriminierung energiesparender Beleuchtungsanlagen	ergriffen	sehr gering	sehr gering
30	Novellierung der HeizanlagenVO	Ordnungsrecht	Verbesserung der Nutzungsgrade bei der zentralen Warmwasserbereitung durch Öl- und Gasheizungen	ergriffen	300	600
	Novellierung der Kleinf FeuerungsanlagenVO	Ordnungsrecht	Strengere Anforderungen an die maximalen Abgasverluste verbessern auch die Effizienz der zentralen Warmwasserbereitung durch Öl- und Gasheizungen	vorgeschlagen	100	200
	Energieverbrauchs-Kennzeichnungsgesetz	Information	Durch verbesserte Information über spezifische Stromverbrauchsmengen von Elektrogeräten, wird zum stromsparenderen Verhalten beigetragen	vorgeschlagen	keine Angaben	
	KonsumgüterVO = ElektroanwendungsVO für Konsumgüter	Ordnungsrecht	Höchstverbrauchsstandards für stromintensive Haushaltsgeräte zum Kühlen, Gefrieren, Waschen, Geschirrspülen, Standby.	vorgeschlagen	1)	1)
	Novellierung der HeizanlagenVO	Ordnungsrecht	Anschlußpflicht für zentrale Warmwasserbereitung bei Zentralheizung mit Fernwärme, Öl oder Gas.	vorgeschlagen	-400 <sup>2)</sup>	-1600 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Emissionswirkungen werden über den Kraftwerkssektor erfaßt. <sup>2)</sup> Hier nur Mehrmissionen durch verstärkte Nutzung von Gas und Heizöl; Emissionsminderungen durch verringerten Stromverbrauch werden über den Kraftwerkssektor erfaßt.

Tabelle 69:

**Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im Sektor Verkehr: Blatt 1**

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise der Maßnahme	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
14	Erhöhung der Mineralölsteuer	Preispolitik	Fahrleistungsminderung im Personenverkehr und eingeschränkt im Güterverkehr	ergriffen	3500	5000
15	Emissionsbezogene Kfz-Steuer (1. Stufe)	Preispolitik	Im Sinne der CO <sub>2</sub> -Minderung eher kontraproduktiv	ergriffen	eher kontraproduktiv	
16	Bundesverkehrswegeplan 1992	Infrastruktur	Positive Beeinflussung der Verkehrsanteile von Bahn, ÖSPV und Binnenschifffahrt; Verstärkung des Verkehrsflusses auf Autobahnen	ergriffen	keine Angaben	
17	Steigerung der Attraktivität des ÖPNV	Infrastruktur	Höhere Verkehrsanteile von Bussen und Bahnen, Fußgängern und Radfahrern	ergriffen	3000	3400
18	Gaspandellverordnung	Ordnungsrecht	Keine CO <sub>2</sub> -relevanten Wirkungsfelder	ergriffen	keine Angaben	
19	Forschungsprogramm Stadtverkehr (FOPS)	Forschungsförderung	Fahrleistungsminderung im städt. Autoverkehr, Stärkung von ÖPNV, Fuß- und Radwegen	ergriffen	500	1000
20	Verkehrsbeeinflussung durch Verstärkung des Verkehrsflusses	Infrastruktur	Senkung des Kraftstoffverbrauchs durch stetigere Fahrweise und geringere Durchschnittsgeschwindigkeiten	ergriffen	600	1200
21	Informationen zum energiesparenden und umweltfreundlichen Verkehrsverhalten	Information	Fahrleistungsreduktion im Individualverkehr; Senkung des spezifischen Durchschnittsverbrauchs	ergriffen	keine Angaben	
22	Forschungsvorhaben und Information über Stadtverkehrsplanung und umweltschonenden Stadtverkehr	Forschungsförderung	Effekte hinsichtlich der CO <sub>2</sub> -Emissionen ungewiß	ergriffen	keine Angaben	
23	Strukturreform der Bahn	Infrastruktur	Höhere Verkehrsanteile der Bahn	ergriffen	keine Angaben	
24	Güterverkehrszentren	Infrastruktur	Verkehrsverlagerungen zur Bahn; höhere Auslastung im Straßengüterfernverkehr	ergriffen	500	1000
25	Kombi-Verkehre über Wasserstraßen	Infrastruktur	Verkehrsverlagerungen zur Binnenschifffahrt	ergriffen	keine Angaben	
26	Forschungsprogramm "Schadstoffe in der Luftfahrt"	Forschungsförderung	Senkung des spezif. Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen aller Verkehrsträger	ergriffen	keine Angaben	
27	Verkehrsforschung	Forschungsförderung	Senkung des spezif. Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen aller Verkehrsträger	ergriffen	keine Angaben	
28	Tarifaufhebungsgesetz	Preispolitik	Expansion der Fahrleistungen des Straßengüterverkehrs zu Lasten von Bahn und Binnenschifffahrt; im Sinne der CO <sub>2</sub> -Minderung kontraproduktiv	ergriffen	keine Angaben	
93	Gebühren für die Benutzung bestimmter Straßen (Euro-Vignette)	Preispolitik	Stärkere Wettbewerbsposition des Straßengüterverkehrs	ergriffen	eher kontraproduktiv	
95	Standortkonzep-tion der Bahn	Infrastruktur	Fahrleistungsminderungen im Straßengüterfernverkehr; Verkehrsverlagerung zur Bahn	ergriffen	300	1000
98	Änderung der gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien	Organisation	Sorgfältigere Prüfung der Verkehrs- und Umweltfolgen von Gesetzen und Verordnungen	ergriffen	0	0
100	Verlagerung des internationalen Transitverkehrs von der Straße auf die Schiene und das Schiff	Maßnahmen-bündel	Fahrleistungsreduktion im Straßengüterfernverkehr	ergriffen	100	500

noch Tabelle 69:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Verkehr: Blatt 2

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise der Maßnahme	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
91	Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer mit dem Ziel von VK/DK-Preisen von 2,- DM/l	Preispolitik	Fahrleistungsreduktion im Personen- und Güterverkehr; Verkehrsverlagerungen; energieeffizientere Fahrzeuge und Fahrweisen	vorge-schlagen	3000	5000
94	CO <sub>2</sub> -Emissionen bei neuen Kfz	Preispolitik	Anreize für die Herstellung, den Kauf und die Nutzung energieeffizienterer Fahrzeuge	vorge-schlagen	3000	7000
96	Anwendung moderner Informationstechnik zur Vermeidung und Regulierung weiteren Verkehrsaufkommens (Telematik)	Information	Verkehrsverflüssigung; Vermeidung von Umwegfahrten	vorge-schlagen	200	1000
97	Besteuerung von Flugkraftstoffen	Preispolitik	Nachfragereduktion; energieeffizienterer Flugbetrieb und energieeffizienteres Fluggerät	vorge-schlagen	deutliche Reduktion; derzeit noch keine Aussagen möglich	
99	Einführung einer Verkehrsauswirkungsprüfung	Information	Verkehrsvermeidung	vorge-schlagen	0	0
	Verringerung der Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr (BAB: 120 km/h; AO-Straßen: 80 km/h)	Ordnungsrecht	Senkung der Geschwindigkeiten auf Bundesautobahnen und Außerortsstraßen; Verstetigung des Verkehrsflusses; Senkung der durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchswerte	vorge-schlagen	6400	8000
	" bei 100 km/h auf BAB	Ordnungsrecht	s.o.	vorge-schlagen	10000	12500
	" bei 130 km/h auf BAB	Ordnungsrecht	s.o.	vorge-schlagen	4800	6000
	Kraftstoffverbrauchsgrenzwerte	Ordnungsrecht	Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs um jährlich rund 5 %	vorge-schlagen	3500	11300
	Anhebung der Kraftstoffpreise (VK/DK: 3 DM/l)	Preispolitik	Fahrleistungsminderung; Verkehrsverlagerung; energieeffiziente Fahrzeuge; energieeffizientes Verhalten	vorge-schlagen	7000	23000
	Fahrleistungsabhängige Straßenverkehrsgebühren (road pricing)	Preispolitik	Fahrleistungsreduktion im Personen- und Güterverkehr; Verkehrsvermeidung	vorge-schlagen	5000	15000
	Allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz	Information, Beratung, Fortbildung	Verstetigung der Fahrgeschwindigkeit; beschleunigungsärmere Fahrweisen; Senkung der Durchschnittsgeschwindigkeit	vorge-schlagen	3000	11000
	Alternativ: Maßnahmenbündel Personenverkehr	Maßnahmenbündel	Energieeffizientere Technik; Fahrleistungsminderung im motorisierten Individualverkehr; Verkehrsverlagerung; energieeffizienteres Fahrverhalten; Initiierung von verkehrsvermeidenden Siedlungsstrukturen	vorge-schlagen	5000	25000
	Alternativ: Maßnahmenbündel Güterverkehr	Maßnahmenbündel	analog zum Personenverkehr	vorge-schlagen	1000	5000

Tabelle 70:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
3	Stromeinspeisungsgesetz	Preispolitik	Verpflichtung der EVU zur Abnahme von Strom aus erneuerbaren Energien und Mindestvergütung seit 1991.	ergriffen	4863	6484
6	Förderprogramm BMWi 1994/95	Subventionen	Investitionskostenzuschüsse für erneuerbare Energien von 20 Mill. DM in 1994/95.	ergriffen	56	56
43	BMBF-Demonstration Wind und Photovoltaik	Forschungsförderung	Förderung der Demonstration von Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen.	ergriffen	23	23
44	1000-Dächer-PV-Programm	Forschungsförderung	Bund-Länder-Programm zur Förderung von 2250 PV-Anlagen auf Dächern insbesondere von Ein- und Zweifamilienhäusern (Investitionskostenzuschüsse von 70 %).	ergriffen	3	3
45	250-MW-Wind-Programm	Forschungsförderung	Investitions- oder Betriebskosten-zuschüsse für Windkraftanlagen mit einer Leistung von insgesamt 250 MW.	ergriffen	562	562
46	Solarthermie 2000	Forschungsförderung	Förderung der Erprobung von großen solarthermischen Anlagen.	ergriffen	1	2
54	Geothermie	Forschungsförderung	Förderung von Versuchsanlagen für geothermische Heizzentralen.	ergriffen	35	35
110	Selbstverpflichtungen (VDEW)	Selbstverpflichtungen	Erklärung der Energieversorger zur Nutzung erneuerbarer Energien in Inland und Ausland im Rahmen der Selbstverpflichtungen der deutschen Wirtschaft zum Klimaschutz.	ergriffen	2200	5500
112	Förderprogramm BMWi 1995/98	Subventionen	Investitionskostenzuschüsse für erneuerbare Energien von knapp 100 Mill. DM in 1995/98.	ergriffen	143	143
	Vorschlag aus Gesprächs-zirkel 6 beim BMWi	Subventionen	Programm zur finanziellen Förderung unterschiedlicher Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien im Umfang von rund 4 Mrd. DM innerhalb von 5 bis 7 Jahren.	vorgeschlagen	5591	9318
	100 000-Dächer-Photovoltaik-Programm	Subventionen	Zuschüsse für die Errichtung von 100 000 Photovoltaikanlagen auf Dächern.	vorgeschlagen	67	167

Tabelle 71:

### Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Stromerzeugung

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
110	Selbstverpflichtungen (VDEW)	Selbstverpflichtungen	Erklärung der Energieversorger zur Minderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen im Bereich der öffentlichen Stromerzeugung durch Erhöhung der Wirkungsgrade der konventionellen Kraftwerke, Steigerung der Leistungsfähigkeit der Kernkraftwerke u.ä. <sup>1</sup>	ergriffen	4000	7000
	Liberalisierung des Strommarktes	Ordnungsrecht	Verstärkter Zubau von Erdgas-GuD-Kraftwerken	ergriffen	3000	6000
	Minderung der Stromnachfrage I		Keine eigenständige Maßnahme, sondern Resultat der ergriffenen Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung in den Endenergiesektoren (dort nicht als strombedingte Emissionsminderung ausgewiesen)	ergriffen	8700	16300
	Minderung der Stromnachfrage II		Keine eigenständige Maßnahme, sondern Resultat der vorgeschlagenen Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung in den Endenergiesektoren (dort nicht als strombedingte Emissionsminderung ausgewiesen)	vorgeschlagen	7700	28000
	Strukturelle Änderung der Stromerzeugung		Anpassung der Stromerzeugung an die geringere Stromnachfrage durch Rücknahme der Kapazitäten bei Steinkohlen- und Braunkohlenkraftwerken; Kapazitäten der übrigen Kraftwerke wie im "Mit-Maßnahmen-Szenario". Resultat: Emissionsärmere Erzeugungsstruktur.	vorgeschlagen	5700	17400

<sup>1</sup> Ohne Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen (vgl. dazu Tabelle 72).

Nr.	Maßnahme	Art des Instruments	Wirkungsweise	Status	Wirkung in 1000 t CO <sub>2</sub>	
					2000	2005
	Erhöhung der Fernwärmefachfrage I	Keine eigenständige Maßnahme, sondern Resultat der ergriffenen Maßnahmen in den Endenergiesektoren (dort nicht als fernwärmebedingte Emissionsminderung ausgewiesen)	ergriffen	-300	-550	
	Erhöhung der Fernwärmefachfrage II	Keine eigenständige Maßnahme, sondern Resultat der vorgeschlagenen Maßnahmen in den Endenergiesektoren (dort nicht als fernwärmebedingte Emissionsminderung ausgewiesen)	vorgeschlagen	-500	-1300	
	Strukturelle Änderung der Fernwärmeerzeugung	Anpassung der Fernwärmeerzeugung an die höhere Fernwärmefachfrage durch stärkere Nutzung von Erdgas-Heizkraftwerken; Nutzung der übrigen Kraftwerke wie im "Mit-Maßnahmen-Szenario". Im Ergebnis emissionsärmere Erzeugungsstruktur.	vorgeschlagen	400	700	
Anmerkung: Negatives Vorzeichen bei den quantifizierten Maßnahmenwirkungen bedeutet Mehrmission.						

### III Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

#### 1 Vorbemerkungen

Im Teil II der hier vorgelegten Untersuchung ist die Basis für die Beschreibung der drei Szenarien geschaffen worden, die im Rahmen dieser Arbeit in Anlehnung an die IPCC-Guidelines maßnahmenorientiert und sektorspezifisch entwickelt werden sollten. In diesem Teil III sollen nun die dabei gewonnenen Resultate zu den Szenarien verdichtet werden.

Dem wird ein Überblick über diejenigen Szenarien vorangestellt, die mit Hilfe des IKARUS-Modells berechnet worden sind, um daraus unter dem Gesichtspunkt der Kostenminimierung die wichtigsten Handlungsfelder für eine wirksame Klimaschutzpolitik herauszuarbeiten (Kapitel 2).

Die Darstellung der außerhalb des IKARUS-Modells - aber unter Berücksichtigung der daraus resultierenden Erkenntnisse - entwickelten Szenarien setzt zunächst auf sektorbezogenen Szenarien auf (Kapitel 3) und verdichtet diese dann zu Gesamtszenarien (Kapitel 4).

Als Ergänzung zur Bewertung dieser Szenarien sind die in Kapitel 5 skizzierten Überlegungen zum Einfluß „grauer“ Emissionen bei wichtigen Produkten auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verstehen.

Erinnert sei daran, daß - im Unterschied zu den IKARUS-Rechnungen - den drei Szenarien im wesentlichen die demographischen und ökonomischen Rahmendaten zugrunde gelegt worden sind, die die Prognos AG bei ihrer 1995er-Vorausschätzung des Energieverbrauchs in Deutschland unterstellt hat (vgl. dazu oben Tabelle 8).

Ebenso diene die von Prognos erarbeitete Vorausschätzung - mit einigen im einzelnen in den früheren Kapiteln begründeten Abweichungen - als Referenz für das im Rahmen dieser Untersuchung zu formulierende „Mit-Maßnahmen-Szenario“.



## 2 Handlungsfelder und Szenarien nach den IKARUS-Modellrechnungen<sup>33</sup>

### 2.1 Vorbemerkungen

Mit dem IKARUS-Modell wurden für die alten und neuen Bundesländer für das Zieljahr 2005 jeweils ein Referenzszenario sowie für die alten Bundesländer ausgewählte CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenarien entwickelt und untersucht. Während für das Referenzszenario hinsichtlich des Niveaus der CO<sub>2</sub>-Emissionen keine Restriktionen vorgegeben werden, sind die Reduktionsszenarien so aufgebaut, daß im Jahre 2005 das Ziel der Bundesregierung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber 1990 um 25 % zu mindern, erreicht wird.<sup>34</sup> Entsprechend den Projektvereinbarungen wurden sämtlichen Szenariorechnungen die unveränderten IKARUS-Rahmendaten und die daraus abgeleiteten Energienachfragen zugrunde gelegt.

Bei der Bewertung der Ergebnisse des IKARUS-Modells ist zu berücksichtigen, daß es sich hier um Optimierungsrechnungen und *nicht um Prognosen* handelt. Beide Ansätze unterscheiden sich grundsätzlich:

- Bei *Prognosen* - wie jener von Prognos - wird versucht, unter Berücksichtigung definierter Rahmendaten, bestehender Hemmnisse und Marktunvollkommenheiten sowie ausgewählter Politikbündel eine für die Zukunft als wahrscheinlich anzusehende Entwicklung zu beschreiben.
- Dagegen wird bei einem auf Klimaschutzpolitische Ziele orientierten *Optimierungsmodell* - wie dem IKARUS-Modell - die künftige Energieversorgung so optimiert, daß die gewünschte CO<sub>2</sub>-Reduktionen unabhängig von bestehenden Hemmnissen und

<sup>33</sup> Dieses Kapitel wurde federführend von STE bearbeitet.

<sup>34</sup> Die Kurzbezeichnungen für die Referenzszenarien sind REF-AL05 für die alten und REF-NL05 für die neuen Bundesländer. Die beiden Reduktionsszenarien für die alten Bundesländer tragen die Bezeichnungen CG-AL05 und CS-AL05. Im Falle des Szenarios CG-AL05 wird die erforderliche Minderungsrate global, d.h. für den gesamten Energiesektor vorgegeben. Die sektoralen Raten sind dann das Ergebnis der Kostenminimierung. Da der Verkehrssektor in diesem Fall nur sehr wenig zur Reduktion beiträgt, wird ein weiteres Szenario (CS-AL05) mit unmittelbar sektoral vorgegebenen Reduktionsraten gerechnet. Zu Details der IKARUS-Szenariorechnungen vergleiche Teil IV. Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß die IKARUS-Szenarien in ihrer Charakteristik von den Szenarien der Einzelmaßnahmen abweichen, die weiter oben entsprechend der IPCC-Systematik definiert worden sind (vgl. oben S. 34).

Marktunvollkommenheiten möglichst kostengünstig erreicht werden kann. Ziel des IKARUS-Ansatzes ist es letztlich, Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der künftigen Klimaschutzpolitik herzuleiten.<sup>35</sup>

## 2.2 Politikrelevante Szenarioparameter

Tabelle 73 enthält eine Auswahl der wichtigsten energiebedarfsbestimmenden Größen sowie die Annahmen über deren Entwicklung bis zum Jahre 2005. Bei allen Größen wird demnach ein deutlicher Anstieg unterstellt. Unter sonst unveränderten Bedingungen wirkt dies auf eine entsprechende Zunahme des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Maßnahmen zum Klimaschutz müssen also auch den Zuwachs an Energieverbrauch mehr als kompensieren.

Tabelle 73:

### Annahmen zur Entwicklung ausgewählter energiebedarfsbestimmender Größen in Deutschland für das IKARUS-Modell

Nachfrage-sektor	Bedarfsbestimmende Größen	Einheit	1989	2005	Änderungen in %
Haushalte	Zu beheizende Fläche	Mill. m <sup>2</sup>	2617	3066	17,2
Verkehr	Personenverkehrsleistung	Mrd. Pkm	831	1064	28,0
	Güterverkehrsleistung	Mrd. tkm	356	553	55,3
Industrie	Nettoproduktionswerte alte Bundesländer	Mrd. DM <sup>1)</sup>	591,6	801,5	35,5
	Nettoproduktionswerte neue Bundesländer	Mrd. DM <sup>1)</sup>	100,0	134,6	34,6
Kleinverbraucher	Beschäftigte	Mill.	26,7	30,1	12,7
Pkm = Personenkilometer; tkm = Tonnenkilometer.					
<sup>1)</sup> In Preisen von 1985.					

Zur Einhaltung bestimmter, vornehmlich energie- und regionalpolitisch motivierter Vorgaben werden den IKARUS-Modellrechnungen einige *Begrenzungen* im Hinblick auf den Einsatz einzelner Energieträger vorgegeben. Die wichtigsten Vorgaben sind:

<sup>35</sup> Für eine vergleichende Bewertung der IKARUS- mit den Prognos-Ergebnissen ist im übrigen zu beachten, daß die Rahmendaten, mit denen im IKARUS-Modell gerechnet wurde, nicht mit denjenigen für die Szenarien übereinstimmen, die in der hier vorliegenden Untersuchung auf Basis der Prognos-Annahmen erarbeitet worden sind.

Begrenzungen für *Steinkohle in den alten Bundesländern*:

- Förderung mindestens 35,3 Mill. t (1 050 PJ)
- Verstromung mindestens 17 Mill. t (500 PJ)

Begrenzungen für *Braunkohle*:

- Verstromung in den alten Bundesländern mindestens 90 Mill. t (750 PJ)
- Förderung in den neuen Bundesländern mindestens 70 Mill. t (620 PJ)
- Verstromung in den neuen Bundesländern mindestens 55 Mill. t (490 PJ)

Begrenzung für *Erdgas Importe*:

- Erdgasimporte für die alten Bundesländer maximal 2 600 PJ

Begrenzungen für die *Kernenergie*:

- Konstante installierte Leistung in den alten Bundesländern von 22,4 GW
- mit einer Stromerzeugung von 139 TWh.

## 2.3 Ergebnisse der IKARUS-Szenariorechnungen

### 2.3.1 Referenzszenario im Vergleich zur Prognos-Prognose

In den nach minimalen Kosten optimierten Referenzszenarien für die alten- und neuen Bundesländer wird durch Kombination der wirtschaftlich günstigsten Effizienzverbesserungen und durch Strukturveränderungen für Deutschland von 1990 bis zum Jahre 2005 eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 167 Mill. t oder um 17 % erreicht (vgl. Tabelle 74). Während in dieser Periode die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern nur um 45 Mill. t oder um 6 % reduziert werden, beträgt die Minderung in den neuen Bundesländern 122 Mill. t oder 43 %.

Gegenüber solchen nach Optimierungskriterien ermittelten Veränderungen wird die künftige Entwicklung unter prognostischen Aspekten deutlich anders gesehen: So rechnet Prognos für Deutschland insgesamt im Zeitraum von 1990 bis 2005 nur mit einer Reduktion um 81 Mill. t CO<sub>2</sub>. Während die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern sogar um 9 Mill. t steigen sollen, sinken sie in den neuen Bundesländern lediglich um 90 Mill. t.

Tabelle 74:

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission nach dem IKARUS-Modell im Referenzszenario**

	Basis-Werte des Modells		Referenzszenario <sup>1)</sup>	Veränderungen	
	1989 <sup>2)</sup>	1990 <sup>3)</sup>	2005	1990 bis 2005	
	Mill. t			%	
Alte Bundesländer	690	709	664	-45	-6
Neue Bundesländer	318	284	162	-122	-43
Deutschland	1008	993	826	-167	-17
<sup>1)</sup> Für die neuen Bundesländer wird das Referenzszenario dem Reduktionsszenario gleichgesetzt. - <sup>2)</sup> Ausgangswerte für das IKARUS-Modell. - <sup>3)</sup> Interpolierte Werte; stimmen für die neuen Bundesländer nicht mit den "offiziellen" Angaben überein, wonach dort im Jahre 1990 die CO <sub>2</sub> -Emissionen 305 Mill. t betrugen. Aus Gründen einer modellinternen Konsistenz wurde diese Differenz in Kauf genommen.					

Die im Vergleich zu Prognos deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Reduktion im IKARUS-Referenzszenario ist durch einen erheblich geringeren Kohleinsatz und einen insgesamt niedrigeren Primärenergieverbrauch zu erklären (vgl. Tabelle 75).

Tabelle 75:

**IKARUS-Referenzszenario und Prognos-Vorausschätzung:  
Primärenergieverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer		Deutschland		Abweichungen IKARUS von PROGNOS in %		
	IKARUS	PROGNOS	IKARUS	PROGNOS	IKARUS	PROGNOS	Alte BL	Neue BL	D
Primärenergieverbrauch in PJ									
Steinkohle	1619	1978	100	141	1719	2118	-18,1	-28,8	-18,8
Braunkohle	871	862	707	701	1578	1563	1,0	0,9	1,0
sonst. feste Brennstoffe	141	163	33	25	174	188	-13,5	33,1	-7,3
Mineralöl	4628	5044	782	926	5410	5970	-8,3	-15,5	-9,4
Gas	2237	2569	444	494	2681	3062	-12,9	-10,0	-12,5
Wasser, Wind u.ä. <sup>1)</sup>	228	327	13	-59	241	268	-30,3	-122,1	-10,1
Kernenergie <sup>1)</sup>	1376	1332	0	0	1376	1332	3,3	-	3,3
Insgesamt	11100	12275	2079	2226	13179	14502	-9,6	-6,6	-9,1
Kohlendioxidemissionen in Mill. t									
Insgesamt	664	733	162	176	826	909	-9,4	-8,0	-9,1
<sup>1)</sup> Angaben für IKARUS mit gleichem Primärenergieäquivalent wie bei PROGNOS gerechnet. <sup>2)</sup> Angaben von PROGNOS einschließlich überregionalen Stromausfallsaldo; negative Werte bedeuten Exportüberschuß.									

Als Folge der Optimierung werden bei IKARUS in erheblich stärkerem Maße effiziente Energietechnologien eingesetzt als Prognos dies erwartet. Gründe für diese Abweichung liegen u. a. darin, daß im IKARUS-Optimierungsmodell anders als bei einer (realitätsbezogenen) prognostischen Betrachtung bestimmte Hemmnisse gegenüber der Nutzung selbst wirtschaftlicher Energieparmaßnahmen nicht berücksichtigt werden. Weitere Unterschiede in den IKARUS- und Prognos-Ergebnissen sind - wie erwähnt - z.T. durch ab-

weichende Rahmendaten und durch ein unterschiedliches methodisches Vorgehen bedingt. Speziell im Hinblick auf die Absolutwerte der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind abweichende Emissionsfaktoren ein zusätzlicher Grund für die Ergebnisunterschiede.

### 2.3.2 Reduktionsszenario für die alten Bundesländer

#### *Festlegung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsniveaus für die alten und neuen Bundesländer*

Die CO<sub>2</sub>-Verringerung wird so festgelegt, daß in den Reduktionsszenarien für das Jahr 2005 der Zielwert der Bundesregierung für die alten und neuen Bundesländer zusammen erreicht wird. Die Tabelle 74 zeigte bereits, daß für die neuen Bundesländer schon im Referenzszenario eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2005 auf 162 Mill. t eintritt; Prognos gibt 176 Mill. t an. Eine weitere Emissionsminderung wird für die neuen Bundesländer verabredungsgemäß nicht gerechnet. Wenn unter diesen Voraussetzungen das für Deutschland insgesamt für das Jahr 2005 angestrebte Emissionsniveau erreicht werden soll, müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern bis dahin auf 582 Mill. t gesenkt werden (-18 % gegenüber 1990). Dieses Emissionsniveau dient dem IKARUS-Modell als exogene Zielvorgabe<sup>36</sup> (vgl. Tabelle 76).

Tabelle 76:

#### Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission nach dem IKARUS-Modell im Reduktionsszenario

	Basis-Werte des Modells		Reduktions-szenario <sup>1)</sup>	Veränderungen	
	1989 <sup>2)</sup>	1990 <sup>3)</sup>	2005	1990 bis 2005	
	Mill. t			%	
Alte Bundesländer	690	709	582	-127	-18
Neue Bundesländer	318	284	162	-122	-43
Deutschland	1008	993	744	-249	-25

<sup>1)</sup> Für die neuen Bundesländer wird das Reduktionsszenario dem Referenzszenario gleichgesetzt. <sup>2)</sup> Ausgangswerte für das IKARUS-Modell. <sup>3)</sup> Interpolierte Werte; stimmen für die neuen Bundesländer nicht mit den "offiziellen" Angaben überein, wonach dort im Jahre 1990 die CO<sub>2</sub>-Emissionen 305 Mill. t betrugen. Aus Gründen einer modellinternen Konsistenz wurde diese Differenz in Kauf genommen.

<sup>36</sup> Während in den neuen Bundesländern die CO<sub>2</sub>-Emission von 1990 bis 1995 drastisch gesunken ist (-44 %), war im gleichen Zeitraum in den alten Bundesländern ein Anstieg von knapp 2 % zu verzeichnen. Dieser Zuwachs muß zusätzlich reduziert werden, wenn das Minderungsziel erreicht werden soll. Im IKARUS-Modell wurde dieser Anstieg implizit durch interne Boundverschiebungen in den einzelnen Sektoren berücksichtigt.

### Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Reduktionsszenario

Der Primärenergieverbrauch ist im Reduktionsszenario im Jahre 2005 gegenüber dem Referenzszenario um 700 PJ oder um 6 % niedriger (vgl. Tabelle 77). Der Einsatz der kohlenstoffreichen Energieträger Steinkohle und Öl geht überdurchschnittlich stark zurück, während derjenige der Braunkohle - auch wegen der exogen gesetzten Limitierungen - nur mäßig abnimmt. Der Verbrauch von Gas expandiert dagegen kräftig. Deutlich wachsen wird auch die Nutzung regenerativer Energien, doch bleibt deren Anteil an der Deckung des Primärenergieverbrauchs mit lediglich rund 4 % im Jahre 2005 nach wie vor recht gering.

Tabelle 77:

#### Primärenergieverbrauch nach dem IKARUS Modell im Jahre 2005: Vergleich von Referenz- und Reduktionsszenario

	Referenz- szenario	Reduktions- szenario	Abweichungen des Reduktions- von Referenzszenario	
			PJ	%
Steinkohle	1619	1133	-486	-30
Braunkohle	871	819	-52	-6
Mineralöl	4628	3866	-762	-16
Gas	2237	2813	576	26
Regenerative <sup>1)2)</sup>	369	393	24	7
Kernenergie <sup>1)</sup>	1376	1376	0	0
Insgesamt	11100	10400	-700	-6
<sup>1)</sup> Gleiches Primärenergieäquivalent wie PROGNOSE angenommen.				
<sup>2)</sup> Regenerative einschließlich Müll.				

### Unterschiedliche sektorale CO<sub>2</sub>-Reduktionen

Die im IKARUS-Modell errechneten Reduktionsbeiträge der einzelnen Sektoren zur Erreichung des CO<sub>2</sub>-Zieles sind das Ergebnis einer Kostenminimierung unter CO<sub>2</sub>-Restriktion. Dabei ist von vornherein klar, daß die Forderung, z. B. alle Sektoren mit der gleichen relativen Reduktion zu belasten, volkswirtschaftlich teurer ist als die kostenoptimale Lösung. Die Tabelle 78 weist die absoluten und relativen sektoralen CO<sub>2</sub>-Reduktionsbeiträge im Reduktionsszenario im Vergleich zum Referenzszenario aus. Über alle Sektoren hinweg müssen zusätzlich zum Referenzszenario bis zum Jahre 2005 also rund 81 Mill. t CO<sub>2</sub> vermieden werden.

Nach den Ergebnissen der Optimierungsrechnungen leistet der Umwandlungssektor mit 35,4 Mill. t oder 43,7 % den weitaus größten Beitrag zur geforderten CO<sub>2</sub>-Reduktion in den alten Bundesländern. Dies wird durch eine Verringerung der Steinkohleverstromung und durch einen stärkeren Einsatz von Erdgas im Strom- und insbesondere im Wärmesektor erreicht. Der nächst höhere Beitrag von 26,3 % wird bei den Haushalten erzielt, und zwar vornehmlich durch eine bessere Wärmedämmung, durch effizientere Heizungsanlagen und durch die Nutzung von mehr Erdgas. Beide Sektoren zusammen sind mit 70 % an der gesamten CO<sub>2</sub>-Reduktion von 81 Mill. t beteiligt. Von den restlichen 30 % werden im zusammengefaßten Sektor Industrie und Kleinverbraucher 16,8 % und im Verkehr 13,2 % gespart.

Tabelle 78:

**Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern im  
Reduktionsszenario gegenüber dem Referenzszenario  
im Jahre 2005 nach Sektoren**

	Absolute Differenz	Anteile <sup>1)</sup>	Reduktionsrate <sup>2)</sup>
	Mill. t	%	
Umwandlung	35,4	43,7	17,0
Haushalte	21,3	26,3	17,9
Industrie und Kleinverbraucher	13,6	16,8	7,7
Verkehr	10,7	13,2	6,7
Summe	81,0	100,0	12,2
<sup>1)</sup> Reduktion der Sektoren bezogen auf die Gesamtreduktion			
<sup>2)</sup> Reduktion bezogen auf Emission im Referenzszenario			

Bezogen auf die jeweiligen Emissionen im Referenzszenario im Jahre 2005 weisen die privaten Haushalte mit knapp 18 % sowie der Bereich der Umwandlung mit 17 % die weitaus höchsten zusätzlichen Reduktionsraten auf. Dagegen bleibt der weitere Emissionsrückgang im Bereich von Industrie und Kleinverbrauch mit weniger als 8 % und derjenige im Verkehrssektor mit kaum 7 % begrenzt.<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Um insbesondere den Verkehr stärker „in die Lösung zu zwingen“, wurde in einem weiteren Reduktionsszenario (Bezeichnung: CS-AL05) u.a. die Reduktionsrate in diesem Sektor auf 12,2 % ge-

### *CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten*

Eine der wichtigsten Entscheidungshilfen für die Auswahl eines effizienten Szenarios sind die Mehrkosten, welche für die jeweils vorgegebene Reduktion aufgewendet werden müssen. Diese Mehrkosten, auch Reduktionskosten genannt, werden als Differenz der Systemkosten im Referenzszenario und im Reduktionsszenario für das Jahr 2005 ermittelt. Hieraus darf indes nicht geschlossen werden, daß sich die im Referenzszenario erreichte CO<sub>2</sub>-Reduktion automatisch einstellt und nichts kostet. Die Systemkosten steigen im Referenzszenario vom Ausgangsjahr 1989 bis zum Zieljahr 2005, weil eine steigende Nachfrage bedient werden muß und weil effizientere Techniken eingesetzt werden. Die Kosten dieser beiden Effekte können aus dem Modellergebnis allerdings nicht separiert werden.

Die Tabelle 79 gibt eine Übersicht über die gesamten und die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten im Falle der Reduktionsszenarien mit globaler sowie mit sektoraler Vorgabe der Minderungsziele.<sup>38</sup> Die dort ausgewiesenen negativen Mehrkosten im Primärenergiesektor entstehen durch Energieeinsparungen. Weil im Szenario mit sektoraler Reduktionsvorgabe der Verkehr stärker zur CO<sub>2</sub>-Minderung „gezwungen“ wurde, steigen die Gesamtkosten unter den zugrunde liegenden Bedingungen von knapp 5,5 Mrd. DM/a auf rund 8,8 Mrd. DM/a. Die durchschnittlichen Mehrkosten nehmen entsprechend zu (vgl. hierzu im Detail Teil IV).

---

setzt, entsprechend dem Durchschnitt über alle Sektoren (vgl. Tabelle 80). Dies entspricht einer Stabilisierung der Verkehrsemissionen in den alten Bundesländern auf dem Niveau von 1992. Da die Minderungsmöglichkeiten im Sektor Industrie und Kleinverbraucher modellseitig ausgeschöpft waren, steigt die Einsparung nur im Verkehr und zwar von 10,7 auf 19,4 Mill. t dargestellt ist. Die Sektoren Umwandlung und Haushalte werden durch diese Emissionsminderung um 5 Mill. t bzw. um 3,8 Mill. t entlastet. Bei insgesamt gleichen Reduktionsraten wachsen die mittleren Mehrkosten der CO<sub>2</sub>-Reduktion gegenüber dem Referenzszenario von 67 DM/t im „Standard-Reduktionsszenario“ (Tabelle 80) auf 108 DM/t in dem hier angesprochenen Szenario CS-AL05. Diese erheblich höheren zusätzlichen Kosten gehen auf das Konto des Verkehrssektors, weil die zugrunde liegenden IKARUS-Daten z.B. für Spar-Pkw zu Reduktionskosten von 600 bis 1000 DM/t CO<sub>2</sub> führen. Hier liegt die Annahme zugrunde, daß sich die Sparfahrzeuge im Jahre 2005 in Komfort und Größe nicht von Normalfahrzeugen unterscheiden. Die Grenzkosten für die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehrssektor betragen im Szenario CS-AL05 immerhin 689 DM/t.

<sup>38</sup> Bezugsjahr für die Kosten ist 1989. Um die Kosten auf 1995 umzurechnen sind sie mit dem Index der Erzeugerpreise des Investitionsgüter produzierenden Gewerbes von 1,12 zu multiplizieren (Statistisches Jahrbuch 1996).



Tabelle 79:

**Mehrkosten der CO<sub>2</sub>-Minderung in den IKARUS-Reduktionsszenarien**

	Reduktionsszenario mit	
	globaler Reduktions- vorgabe	sektoraler Reduktions- vorgabe
<b>Gesamte Mehrkosten in Mrd. DM/a</b>		
Sektor Primärenergien	-3,22	-1,74
Sektor Umwandlung	1,64	0,52
Sektor Endverbraucher	7,05	10,03
Summe	5,47	8,81
<b>Durchschnittliche Mehrkosten in DM/t CO<sub>2</sub></b>		
Sektor Umwandlung	46	17
Sektor Endverbraucher	155	199
Gesamt	67	108

### 2.3.3 Technische Reduktionsmaßnahmen nach Reduktionszielen und Kostenklassen: Ermittlung von Prioritäten in Abhängigkeit von Reduktionsvorgaben

Die Reihenfolge - also die Priorität -, nach der die Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion vom Modell "gewählt" werden, hängt von den Kosten der Maßnahmen und ihrem CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential ab. Da oft mehrere Maßnahmen in einem Bereich zusammenwirken, z.B. Energieträgerwechsel und Wärmedämmung im Haushaltssektor, kann die entsprechende CO<sub>2</sub>-Reduktion im LP-Modellergebnis nicht immer eindeutig Einzelmaßnahmen zugeordnet werden. Es läßt sich nur die CO<sub>2</sub>-Minderung für das gesamte Bündel von Maßnahmen in diesem Bereich angeben.

Es ist daher nicht möglich, für viele Bereiche anhand einer einzigen optimalen Lösung eine nach den spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten geordnete Folge der Maßnahmen - also eine Prioritätenliste - zu erstellen. Um dennoch eine nach Klassen aufgeteilte Rangfolge der Maßnahmen zu erhalten, wurden Optimierungsrechnungen mit einer zunehmenden CO<sub>2</sub>-Restriktion, d.h. mit einer CO<sub>2</sub>-veränderlichen Obergrenze als Parameter, durchgeführt. Hierzu wurden die folgenden Klassen für die alten Bundesländer im Jahr 2005 gebildet (vgl. Tabelle 80):

Tabelle 80:

**Klasseneinteilung der Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung  
für die alten Bundesländer im Jahre 2005**

	CO <sub>2</sub> -Reduktion im Vergleich zu 1990	Grenzkosten der CO <sub>2</sub> - Reduktion <sup>1)</sup>
	%	DM/t
Klasse I	10	ca. 40
Klasse II	15	ca. 100
Klasse III	20	ca. 310
Klasse IV	25	ca. 610

<sup>1)</sup> Kosten für die letzte Tonne CO<sub>2</sub>, die in der jeweiligen Klasse reduziert wird.

Die vom Modell gewählten Maßnahmen in den vier Klassen werden in Tabelle 81 gezeigt. Die Angaben sind differentiell zu verstehen, d.h. die Maßnahmen in einer höheren Klasse werden als Additiv zu den Maßnahmen in der darunterliegenden Klasse angegeben. Die Maßnahmen in der Klasse I stellen Änderungen im Vergleich zum Referenzfall dar, die Maßnahmen in Klasse II sind Änderungen im Vergleich zur Klasse I u.s.w. Die Änderung z.B. in der Klasse IV in Bezug auf den Referenzfall ist daher die Summe der Änderungen (oder Maßnahmen) aus den Klassen I bis IV.

Wegen der veränderten Nachfrage ist eine entsprechende Auflistung der autonomen Maßnahmen im Referenzszenario für den Zeitraum von 1990 (bzw. vom IKARUS-Basisjahr 1989) bis 2005 nicht möglich.

Das weiter oben betrachtete Reduktionsszenario mit einer im Jahre 2005 in den alten Bundesländern gegenüber 1990 um 18 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emission (entsprechend einer CO<sub>2</sub>-Minderung von 25 % für Deutschland insgesamt) kommt der Klasse III am nächsten.

Tabelle 82 enthält Angaben zu den sektoralen CO<sub>2</sub>-Minderungen, die sich aus den Maßnahmen in den vier Klassen ergeben. In Analogie zur Tabelle 81 werden die differentiellen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeführt.

Tabelle 81:

**Beispiele wichtiger technischer Reduktionsmaßnahmen  
nach Reduktionsintensität und Kostenklassen in den alten Bundesländern**

Klasse I (10 % Reduktion)	Klasse II (15 % Reduktion)	Klasse III (20 % Reduktion)	Klasse IV (25 % Reduktion)
<b>Elektrizitätserzeugung</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zubau von GuD-Kraftwerken</li> <li>* Zubau von Wasser-Kraftwerken (Hochspannung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Verstärkter Zubau von GuD-Anlagen</li> <li>* Maximal möglicher Zubau von Wasser-Kraftwerken (Hochsp.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Maximal möglicher Zubau von GuD-Anlagen</li> <li>* Maximal möglicher Zubau von BK-Kraftwerken mit integrierter Kohlevergasung</li> <li>* Zubau von Wasserkraftwerken (Mittelsp.)</li> <li>* Zubau von Windkraftwerken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Maximal möglicher Zubau von Wasser-Kraftwerken (Niedersp.)</li> <li>* Maximal möglicher Zubau von Windkraftwerken</li> </ul>
<b>Fern- und Nahwärme</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zubau von müßbefeuerten Anlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Weiter Zubau von müßbefeuerten Anlagen</li> <li>* Zubau von Biomasseanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Starker Zubau von Biomasse- und Biogas-Anlagen</li> <li>* Ausbau des Nahwärmenetzes</li> <li>* Bau von Biogas-, Erdgas- und Deponiegas-Anlagen im Nahwärmebereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zubau von Biomasseanlagen</li> <li>* Starker Zubau von Biogasanlagen</li> <li>* Zubau von GuD-Anlagen</li> <li>* Zubau von müßbefeuerten Anlagen</li> <li>* Weiter Zubau von Erdgasturbinen im Nahwärmebereich</li> </ul>
<b>Industrie</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in den Branchen Zementherstellung, Roheisenherstellung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in der Branche Steine/Erden (gesamt)</li> <li>* Verstärkter Einsatz effizienter Prozeßtechniken (Roheisenherstellung)</li> <li>* Einsparung bei Kommunikation und Licht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in der Chemiebranche</li> <li>* Verstärkte Einsparung im Bereich Kommunikation und Licht</li> <li>* Einsparung im Bereich Kraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in fast allen Branchen</li> <li>* Verstärkter Einsatz von Sparmaßnahmen im Bereich Kraft</li> </ul>
<b>Kleinverbrauch</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Wärmepumpen, Wärmedämmung Haushalte</li> <li>* Biomasse-Dampfkessel, Spar-Prozeßtechniken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Verstärkter Einsatz von Spar-Prozeßtechniken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Verstärkter Einsatz von Wärmepumpen zur Niedertemperaturerzeugung</li> <li>* Maximal möglicher Einsatz von Spar-Prozeß-Techniken in allen Untersektoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Spartechniken für Licht, Kraft, Kommunikation</li> <li>* Verstärkte Wärmedämmung im Raumwärmebereich</li> </ul>
<b>Verkehr</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zunahme des Gütertransports durch Bahn und Schiff</li> <li>* Bioethanol-Lkw und Diesel-Sparbusse</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Diesel-Spar-Lkw</li> <li>* Verstärkter Einsatz von Bioethanol-Lkw</li> <li>* Einsatz von Rapsöl- und LPG-Bussen</li> <li>* Einsatz von LPG-Pkw</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Diesel-Spar-Pkw</li> <li>* Ethanol- und Rapsöl-Pkw</li> <li>* Einsatz von Diesel-Spar-Bussen</li> <li>* Einsatz von Bioethanol-Bussen</li> <li>* Verstärkter Einsatz von LPG-Pkw</li> </ul>
<b>Haushalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Wärmedämmung innerhalb vom Renovierungszyklus. Einsparung 2,3 % in EFH und MFH</li> <li>* Erdgas-Brennwertkessel substituiert einen Teil der Heizkessel in MFH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Erdgaskessel substituieren einen Teil der Heizkessel in EFH</li> <li>* Weitere Wärmedämmung im Altbau innerhalb von Renovierungszyklus. Einsparung insgesamt um 4,7 % in EFH-Altbau und um 7,0 % in MFH-Altbau</li> <li>* Wärmedämmung in EFH-Neubau. Einsparung insgesamt 13,3 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz Erdgas-Brennwertkessel in EFH</li> <li>* Wegfall der Einzelheizung mit Kohle und Heizöl in MFH-Altbau</li> <li>* Bezug von Nahwärme in MFH</li> <li>* Weitere Wärmedämmung in EFH-Altbau. Einsparung insgesamt 7,0 %</li> <li>* Wärmedämmung in MFH-Neubau. Einsparung insgesamt 15,1 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Wegfall Heizöl-Einzelheizung in EFH-Altbau</li> <li>* Starke Wärmedämmung innerhalb von Renovierungszyklus. Einsparung von insgesamt 18,7 % im Altbau</li> <li>* Starke Wärmedämmung im Neubau. Einsparung insgesamt um 66,6 % in EFH / 75,2 % in MFH</li> </ul>

Tabelle 82:

**Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Minderung nach Reduktionsklassen (in Mill t)**

Sektoren	Klasse I (10 % Reduktion)	Klasse II (15 % Reduktion)	Klasse III (20 % Reduktion)	Klasse IV (25 % Reduktion)
Stromsektor	6,2	6,4	10,5	6,2
Wärmesektor	0,7	10,3	4,8	-0,5
sonstige Umwandlung <sup>1)</sup>	3,7	2,0	0,9	1,5
Summe Umwandlung	10,6	18,7	16,2	7,2
Industrie	0,9	0,4	2,9	0,3
Verkehr	8,8	0,0	2,7	7,9
Kleinverbraucher	2,0	4,8	3,7	0,4
Haushalt	3,6	11,5	9,9	19,6
Summe Endverbraucher	15,3	16,7	19,2	28,2
Alle Sektoren	25,9	35,4	35,4	35,4
Kumulative Wirkung <sup>2)</sup>	25,9	61,3	96,7	132,1
<sup>1)</sup> Raffinerien, Kohleveredelung und Gasverteilung.- <sup>2)</sup> im Vergleich zum Referenzszenario, in dem im Vergleich zu 1989 45 Mill. t CO <sub>2</sub> eingespart werden.				

Es zeigt sich dabei folgendes Bild:

- Innerhalb der Klasse I bewirken die Maßnahmen im Stromsektor und im Verkehrssektor die größte CO<sub>2</sub>-Einsparung. Die Maßnahmen im Umwandlungsbereich tragen zu etwa zwei Fünftel und die Maßnahmen im Endverbraucherbereich entsprechend zu drei Fünftel zur CO<sub>2</sub>-Reduktion bei.
- In Klasse II zeigen die Maßnahmen im Strom- und Wärmesektor sowie im Haushaltssektor den größten CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Umwandlungsbereich und im Endverbraucherbereich sind etwa gleich groß.
- Die quantitative Wirkung der Maßnahmen in Klasse III ist, bis auf die Aufteilung zwischen Stromsektor und Wärmesektor, ähnlich wie in Klasse II. Der Industriesektor trägt hier einen höheren Anteil als in den anderen Klassen.
- In Klasse IV sind die Maßnahmen im Endverbraucherbereich mit vier Fünftel an der CO<sub>2</sub>-Reduktion beteiligt. Dabei ist besonders die CO<sub>2</sub>-Einsparung aufgrund der Maß-

nahmen im Haushaltssektor groß. In dieser Klasse liefern die Maßnahmen im Verkehrssektor, im Haushaltssektor und im Stromsektor einen wichtigen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Minderung.

In Tabelle 83 sind die gesamten Mehrkosten der Maßnahmen in den vier Klassen sowie die entsprechenden durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten und die CO<sub>2</sub>-Grenzkosten aufgeführt. Die Kosten der Maßnahmen nehmen mit der Klasse, d. h. mit dem Grad der CO<sub>2</sub>-Reduktion, kräftig zu. Die durchschnittlichen Reduktionskosten für alle Maßnahmen in Klasse IV liegen um den Faktor 28 höher als die in Klasse I.

Tabelle 83:

**Mehrkosten der CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen gegenüber dem Referenzfall  
in den Reduktionsklassen in den alten Bundesländern**

	Klasse I (10 % Reduktion)	Klasse II (15 % Reduktion)	Klasse III (20 % Reduktion)	Klasse IV (25 % Reduktion)
Gesamte Kosten (Mrd. DM/a)	0,5	1,9	7,3	16,7
Durchschnittliche Minderungskosten (DM/t CO <sub>2</sub> )	17	55	205	472
CO <sub>2</sub> -Grenzkosten (DM/CO <sub>2</sub> )	39	101	309	613

### 3 Die Verdichtung der klimaschutzpolitischen Maßnahmen zu sektoralen Szenarien<sup>39</sup>

Im folgenden werden die in Teil II entwickelten Ergebnisse hinsichtlich der Wirkungen der jeweils untersuchten klimaschutzpolitischen Maßnahmen zu sektoralen Szenarien verdichtet. Dabei kommt es insbesondere darauf an, den jeweiligen Übergang von dem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ zum „Mit-Maßnahmen-Szenario“ und dann schließlich zum „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ nachvollziehbar darzustellen. Zum besseren Verständnis dieser drei Szenarien seien noch einmal die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale in Erinnerung gerufen:

Während das „*Ohne-Maßnahmen-Szenario*“ gedanklich die Abwesenheit jeglicher besonderer klimaschutzpolitischer Maßnahmen unterstellt, werden für das „*Mit-Maßnahmen-Szenario*“ alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis etwa Mitte 1996 schwerwiegend von der Bundesregierung *tatsächlich* ergriffen worden sind. Entsprechend der Charakterisierung nach den IPCC-Guidelines bleiben in diesem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ also solche Maßnahmen außer Betracht, die lediglich geplant oder angekündigt worden sind. Dies betrifft beispielsweise die Absicht, eine europaweite CO<sub>2</sub>-Energiesteuer einzuführen, die von der Bundesregierung zwar unterstützt wird, deren Umsetzung aus heutiger Sicht aber noch völlig offen ist. Außer Betracht bleibt beispielsweise auch die ursprünglich vorgesehene Wärmenutzungsverordnung. Da schon früh offenkundig war, daß unter den Voraussetzungen des „Mit-Maßnahmen-Szenarios“ das Ziel einer 25 %igen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2005 verfehlt werden würde, wurden in einem „*Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario*“ zusätzliche Maßnahmen zur Diskussion gestellt, deren Umsetzung grundsätzlich geeignet sein könnte, das Reduktionsziel zu realisieren.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der einzelnen Szenarien werden in den folgenden Tabellen 84 bis 90 zunächst für jeden der untersuchten Sektoren die dort jeweils berücksichtigten Maßnahmen explizit ausgewiesen und zu den sektorbezogenen Szenarien verdichtet.

<sup>39</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

Tabelle 84:

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der  
energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie<sup>1)</sup>**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000 <sup>2)</sup>	2005 <sup>2)</sup>
		CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t			
<b>Ohne-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>169,7</b>	<b>126,8</b>	<b>122,5</b>	<b>122,5</b>
<b>Ergriffene Maßnahmen</b>					
7	ERP-Energiesparprogramm			0,3	0,6
13	Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung			0,0	0,0
29	WärmeschutzVO			0,2	0,4
30	HeizungsanlagenVO			0,3	0,6
71	Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen			0,3	0,6
116	EU-Öko-Audit			0,0	0,0
101	Novellierung 1. BImSchV (Kleinf FeuerungsanlagenVO)			0,1	0,1
42 - 49	Energie-, Technologie- und Bauforschung			0,1	0,5
110	Selbstverpflichtung der Industrieverbände/VKU			3,5	10,5
110	Selbstverpflichtung von VKU, BGW, MWV, VDEW, VIK			0,1	0,3
	Länder- und Kommunalaktivitäten			1,0	2,5
xxxxx	Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen			<b>5,6</b>	<b>15,4</b>
<b>Mit-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>169,7</b>	<b>126,8</b>	<b>116,9</b>	<b>107,1</b>
<b>Weitere Maßnahmen</b>					
90	WärmenutzungsVO			1,0	6,5
	Novellierung WärmeschutzVO			0,1	1,0
	ElektroanwendungenVO <sup>3)</sup>			3)	3)
	GebäudevermietungsVO			0,0	0,1
	GrundsteuerVO			0,0	0,0
	Angebot der öffentlichen Stromversorger von "grünem Strom" <sup>3)</sup>			3)	3)
	neue Verbändevereinbarung BDI/VDEW/VIK/VEA			0,1	2,1
	Verbesserung der Kreditprogramme ERP, DfA, KfW			0,2	1,5
	gezieltes Fortbildungsprogramm			0,1	1,3
	Initialberatung und Info über Energieagenturen			0,1	0,3
	Unterstützung zweiter Kapitalmarkt			0,1	0,4
	Contracting-Förderung			0,1	0,4
	Verbesserte Ziele der Selbstverpflichtung			0,5	3,0
	Verstärkte Forschung und Entwicklung			0,0	1,3
	Bewußte Beschaffungsprogramme von Großunternehmen			0,1	0,7
	Nachahmung von Brundland-Städten; zusätzliche Länder- und Kommunalprogramme			0,1	1,1
xxxxx	Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen			<b>0,9</b>	<b>7,9</b>
<b>Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>169,7</b>	<b>126,8</b>	<b>116,1</b>	<b>99,3</b>
<sup>1)</sup> Nur brennstoffseitige Emissionsminderungen; strombedingte Emissionen werden über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt. - <sup>2)</sup> Mittelwerte der für 2005 ausgewiesenen Bandbreiten der geschätzten Maßnahmenwirkungen. - <sup>3)</sup> Nur strombedingte Minderungen, die über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt werden.					

Tabelle 85:

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
bei den Kleinverbrauchern<sup>1)</sup>**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000 <sup>2)</sup>	2005 <sup>2)</sup>
		CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t			
<b>Ohne-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>75,7</b>	<b>51,9</b>	<b>70,6</b>	<b>73,0</b>
<b>Ergriffene Maßnahmen</b>					
7	ERP-Energiesparprogramm			0,2	0,4
13	Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung			0,0	0,0
29	WärmeschutzVO			0,8	1,6
30	HeizungsanlagenVO			1,2	2,4
71	Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen			0,2	0,3
116	EU-Öko-Audit			0,0	0,0
101	Novellierung 1. BImSchV (Kleinf FeuerungsanlagenVO)			0,2	0,3
42 - 49	Energie-, Technologie- und Bauforschung			0,1	0,3
110	Selbstverpflichtung der Industrieverbände/VKU			0,0	0,0
110	Selbstverpflichtung von VKU, BGW, MWV, VDEW, VIK			3,5	6,5
	Länder- und Kommunalaktivitäten			3,0	5,5
xxxxx	Gewichtete Summen der Einzelmaßnahmen			8,9	16,5
<b>Mit-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>75,7</b>	<b>51,9</b>	<b>61,6</b>	<b>56,5</b>
<b>Weitere Maßnahmen</b>					
90	WärmenutzungsVO			0,2	3,0
	Novellierung WärmeschutzVO			0,5	5,0
	ElektroanwendungenVO <sup>3)</sup>			3)	3)
	GebäudevermietungsVO			0,1	0,5
	GrundsteuerVO			0,1	0,5
	Angebot der öffentlichen Stromversorger von "grünem Strom" <sup>2)</sup>			3)	3)
	neue Verbändevereinbarung BDI/VDEW/VIK/VEA			0,1	0,7
	Verbesserung der Kreditprogramme ERP, DtA, KfW			0,1	1,1
	gezieltes Fortbildungsprogramm			0,1	1,0
	Initialberatung und Info über Energieagenturen			0,1	0,2
	Unterstützung zweiter Kapitalmarkt			0,1	0,2
	Contracting-Förderung			0,1	0,2
	Verbesserte Ziele der Selbstverpflichtung			0,3	1,5
	Verstärkte Forschung und Entwicklung			0,0	0,7
	Bewußte Beschaffungsprogramme von Großunternehmen			0,1	0,5
	Nachahmung von Brundtland-Städten; zusätzliche Länder- und Kommunalprogramme			0,3	3,4
xxxxx	Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen			1,1	9,2
<b>Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>75,7</b>	<b>51,9</b>	<b>60,6</b>	<b>47,3</b>
<sup>1)</sup> Nur brennstoffseitige Emissionsminderungen; strombedingte Emissionen werden über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt. - <sup>2)</sup> Mittelwerte der für 2005 ausgewiesenen Bandbreiten der geschätzten Maßnahmenwirkungen. - <sup>3)</sup> Nur strombedingte Minderungen, die über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt werden.					



Tabelle 86:

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
bei den privaten Haushalten<sup>1)</sup>**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000	2005
		CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t			
<b>Ohne-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>128,4</b>	<b>135,2</b>	<b>136,3</b>	<b>138,5</b>
<b>Ergriffene Maßnahmen</b>					
29	Wärmeschutzverordnung			2,5	5,0
30	Heizungsanlagenverordnung <sup>2)</sup>			3,3	6,7
31	Vor-Ort-Beratung			0,1	0,1
32	Fördergebietsgesetz			keine Quantifizierung	
33	KfW Programm Neue Bundesländer			6,2	6,2
34	Aufschwung Ost			1,4	1,4
35	Sozialer Wohnungsbau			0,3	0,7
36-39	diverse Maßnahmen			keine Quantifizierung	
101	Novelle 1. BImSchV <sup>3)</sup>			0,4	0,7
111	KfW-Programm alte Bundesländer			1,9	1,9
115	Ökozulagen			0,4	0,4
	Selbstverpflichtung (nicht in anderen Maßnahmen enthaltener Nettoeffekt)			1,1	2,2
Summe Maßnahmenwirkung				17,6	25,3
xxxxx	zusätzlich: Aktivitäten auf Landes- und Kommunalebene <sup>4)</sup>			1,8	2,5
<b>Mit-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>128,4</b>	<b>135,2</b>	<b>115,9</b>	<b>110,7</b>
<b>Weitere Maßnahmen</b>					
102	Energetische Sanierung			4,6	11,4
103	Privilegierung regenerativer Energien			keine Quantifizierung	
104	Vereinheitlichung Genehmigungsverf.			keine Quantifizierung	
	Verschärfte WärmeschutzVO			-	3,8
	Gebäudevermietungs-/VerkaufsVO			0,4	1,0
	GrundsteuerVO			0,4	1,0
	Attraktivitätssteigerung Erdgas			1,3	3,1
	Novellierung HeizungsanlagenVO <sup>3)</sup>			-0,4	-1,4
Summe Maßnahmenwirkung				6,3	18,9
xxxxx	zusätzlich: Aktivitäten auf Landes- und Kommunalebene <sup>4)</sup>			0,6	1,9
<b>Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario</b>		<b>128,4</b>	<b>135,2</b>	<b>109,0</b>	<b>89,9</b>
<sup>1)</sup> Nur brennstoffbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen in den Bereichen Raumwärme und Warmwasser; die strombedingten Emissionen werden über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt. - <sup>2)</sup> Raumwärme einschließlich der Auswirkungen einer verschärften Kleinf Feuerungs- und Heizungsanlagenverordnung im Warmwasserbereich (2000: 0,07 Mill. t CO <sub>2</sub> ; 2005: 0,2 Mill. t CO <sub>2</sub> ). - <sup>3)</sup> Nur zentrale Warmwasserbereitung, negativer Wert durch Mehreinsatz von Erdgas und Heizöl. Einschließlich erneute Novellierung der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung. - <sup>4)</sup> Annahme: 10 % der in der Vorzelle ausgewiesenen CO <sub>2</sub> -Emissionsminderungen.					

Tabelle 87:

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
im Verkehrssektor<sup>1)</sup>**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000 <sup>2)</sup>	2005 <sup>2)</sup>
		CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t			
Ohne-Maßnahmen-Szenario		184,9	196,1	231,0	236,0
	Ergriffene Maßnahmen				
14	Erhöhung der Mineralölsteuer			3,5	5,0
17	Attraktivitätssteigerung ÖPNV			3,0	3,4
19	Forschungsprogramm Stadtverkehr			0,5	1,0
20	Verstetigung des Verkehrsflusses			0,6	1,2
24	Güterverkehrszentren			0,5	1,0
95	Standortkonzeption der Bahn			0,3	1,0
100	Verlagerung internationaler Transitverkehr			0,1	0,5
xxxxx	Gewichtete Summe der Maßnahmen			8,0	12,0
Mit-Maßnahmen-Szenario		184,9	196,1	223,0	224,0
	Weitere Maßnahmen				
91	Anhebung EU-Mindestsätze bei Mineralölsteuer; Ziel von 2,- DM/l für VK/DK			3,0	5,0
	alternativ: Steuererhöhung auf Kraftstoffpreis von 3,- DM/l VK/DK (in Summe nicht berücksichtigt)			7,0	23,0
94	Richtwerte für CO <sub>2</sub> -Emissionen bei neuen Kfz			3,0	7,0
96	Telematik			0,2	1,0
97	Besteuerung von Flugkraftstoffen			z.Zt. k. A.	
	Verringerung der Höchstgeschwindigkeiten auf BAB und AO-Straßen (80/120)			6,4	8,0
	Kraftstoffverbrauchsgrenzwerte			3,5	11,3
	Fahrleistungsabhängige Straßenverkehrsgebühren			5,0	15,0
	Allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz			3,0	11,0
xxxxx	Gewichtete Summe der vorgenannten Einzelmaßnahmen			9,0	40,0
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario I		184,9	196,1	214,0	184,0
	Für das "Mit-weiteren-Maßnahme-Szenario" gewählte Maßnahmen-Alternative				
	Maßnahmenbündel Personenverkehr			5,0	25,0
	Maßnahmenbündel Güterverkehr			1,0	5,0
xxxxx	Summe Maßnahmenbündel			6,0	30,0
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario II		184,9	196,1	217,0	194,0

<sup>1)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr sowie Kraftstoffe bei Haushalten und Kleinverbrauchern sowie bei militärischen Dienststellen. - <sup>2)</sup> Mittelwerte der für 2000 und 2005 ausgewiesenen Bandbreiten der geschätzten Maßnahmenwirkungen.

Tabelle 88:

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
bei der Stromerzeugung**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000	2005
		CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t			
Ohne-Maßnahmen-Szenario		353,6	317,5	331,4	345,5
Ergriffene Maßnahmen					
110	Selbstverpflichtungen (VDEW)			4,0	7,0
	Liberalisierung des Strommarktes			3,0	6,0
div.	Minderung der Stromnachfrage I			8,7	16,3
Gewichtete Summe der Maßnahmen				14,7	26,6
Mit-Maßnahmen-Szenario		353,6	317,5	316,7	318,9
Weitere Maßnahmen					
div.	Minderung der Stromnachfrage II			7,7	28,0
	Strukturelle Änderung der Stromerzeugung			5,7	17,4
Gewichtete Summe der Maßnahmen				13,3	44,1
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario		353,6	317,5	303,5	274,8

Tabelle 89:

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
bei der Fernwärmeerzeugung**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000	2005
		CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t			
Ohne-Maßnahmen-Szenario		42,9	31,7	29,7	26,9
Ergriffene Maßnahmen					
div.	Erhöhung der Fernwärmenachfrage I			-0,3 <sup>n</sup>	-0,5 <sup>n</sup>
Mit-Maßnahmen-Szenario		42,9	31,7	30,0	27,5
Weitere Maßnahmen					
div.	Erhöhung der Fernwärmenachfrage II			-0,5 <sup>n</sup>	-1,3 <sup>n</sup>
	Strukturelle Änderung der Fernwärmeerzeugung			0,4	0,7
Gewichtete Summe der Maßnahmen				-0,1 <sup>n</sup>	-0,6 <sup>n</sup>
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario		42,9	31,7	30,1	28,1
<sup>n</sup> Negatives Vorzeichen bedeutet Mehremissionen bei der Fernwärmeerzeugung.					

<sup>n</sup> Negatives Vorzeichen bedeutet Mehremissionen bei der Fernwärmefachzeugung.

Tabelle 90:

**Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energien**

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	CO <sub>2</sub> -Reduktionswirkung in 1000 t	
		2000	2005
Ergriffene Maßnahmen			
3	Stromeinspeisungsgesetz	4863	6484
6	Förderprogramm BMWi 1994/1995	56	56
43	BMBF-Demonstration Wind und PV	23	23
44	1000-Dächer-PV-Programm	3	3
45	250-MW-Wind-Programm	562	562
46	Solarthermie 2000	1	2
54	Geothermie	35	35
Summe bis 1995 ergriffener Maßnahmen		5544	7166
110	Selbstverpflichtungen (VDEW)	2200	5500
112	Förderprogramm BMWi 1995/1998	143	143
Summe 1996 ergriffener Maßnahmen		2343	5643
Weitere Maßnahmen			
	Vorschlag BMWi-Gesprächszirkel 6	5591	9318
	100 000-Dächer-PV-Programm	67	167
Summe weitere Maßnahmen		5658	9485
Alle Maßnahmen zusammen		13545	22295
Reduktionswirkung im ...			
...	PROGNOS-Referenz-Szenario	31789	36446
...	"Ohne-Maßnahmen-Szenario": weniger als PROGNOS	7887	12809
...	"Mit-Maßnahmen-Szenario": mehr als PROGNOS	2343	5643
...	"Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario": mehr als PROGNOS	8001	15129

## 4 Die Verdichtung der klimaschutzpolitischen Maßnahmen zu den sektorübergreifenden Szenarien<sup>40</sup>

Aus den Ergebnissen für die einzelnen Sektoren lassen sich unmittelbar die in den nachstehenden Tabellen 91, 92 sowie 94 dargestellten drei Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland zusammenfassen, so daß auf eine weitere Kommentierung verzichtet werden kann.

### 4.1 Das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“

Im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ dürften die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland insgesamt (ohne internationaler Luftverkehr) im Jahre 2005 mit knapp 984 Mill. t lediglich um rund 30 Mill. t oder um 3 % niedriger sein als 1990. Gegenüber 1995 würden sie sich sogar wieder erhöhen, und zwar um etwa 89 Mill. t oder um rund 10 % (vgl. Tabelle 91).

Unter sektoralen Aspekten ist hervorzuheben, daß es in der *Industrie* wie im *Energiesektor* in der Periode von 1990 bis 2005 durchweg zu einer kräftigen Emissionsminderung kommen würde. Hierin schlägt sich vor allem die Entwicklung in der ersten Hälfte der neunziger Jahre in den neuen Bundesländern nieder.

Dagegen wird insbesondere beim *Verkehr* eine kräftige Steigerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erwartet; hier könnten die Emissionen im Jahre 2005 um reichlich 50 Mill. t oder um 28 % höher sein als 1990.

Ohne klimaschutzpolitisch orientierte Maßnahmen wäre auch bei den *Haushalten* mit einer spürbaren Zunahme der Emissionen zu rechnen (1990/2005: knapp 8 %), während für den Sektor der *Kleinverbraucher* über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg ein im großen und ganzen stagnierender Emissionsverlauf angenommen wird. Dahinter verbirgt sich freilich eine gegenläufige Entwicklung in den Teilperioden: Während die Emissionen bei den Kleinverbrauchern von 1990 bis 1995 um rund ein Drittel zurückgegangen waren, dürften sie von 1995 bis 2005 um mehr als zwei Fünftel zunehmen.

<sup>40</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom DIW bearbeitet.

Tabelle 91:

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2005  
im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“**

Sektoren	Ist-Werte		Szenario-Werte				
	1990	1995 <sup>1)</sup>	2000 <sup>2)</sup>	2005 <sup>2)</sup>	90/95	95/05	90/05
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t				Veränderungen in %		
Industrie	169,7	126,8	122,5	122,5	-25,3	-3,4	-27,8
Kleinverbraucher <sup>3)</sup>	75,7	51,9	70,5	73,0	-31,5	40,7	-3,6
Haushalte	128,4	135,2	135,3	138,5	5,3	2,5	7,9
Verkehr <sup>4)</sup>	184,9	196,1	231,0	236,0	6,0	20,4	27,6
Summe Endenergiesektoren	558,8	509,9	559,3	570,0	-8,7	11,8	2,0
Kraftwerke	353,6	317,5	331,4	345,5	-10,2	8,8	-2,3
Fernwärme	42,9	31,7	29,7	26,9	-26,0	-15,1	-37,2
übriger Energiesektor <sup>5)</sup>	43,0	24,0	21,0	19,0	-44,1	-20,9	-55,8
Summe Energiesektor	439,4	373,2	382,2	391,4	-15,1	4,9	-10,9
Insgesamt	998,2	883,1	941,4	961,4	-11,5	8,9	-3,7
Außerdem: Erneuerbare Energien	-	-	7,9	12,8	-	-	-
Summe energiebedingte Emissionen	998,2	883,1	949,3	974,2	-11,5	10,3	-2,4
Prozeßbedingte Emissionen	27,5	25,2	26,1	25,5	-8,4	1,0	-7,5
Emissionen insgesamt	1025,7	908,3	975,4	999,7	-11,4	10,1	-2,5
abzgl. internat. Luftverkehr <sup>5)</sup>	11,6	13,9	15,0	15,9	19,8	14,3	36,9
Emissionen ohne internat. Luftverkehr	1014,2	894,5	960,4	983,8	-11,8	10,0	-3,0

<sup>1)</sup> Vorläufige Angaben errechnet auf der Basis von Energiebilanzdaten. - <sup>2)</sup> Mittelwerte, sofern für die einzelnen Sektoren Bandbreiten angegeben wurden. - <sup>3)</sup> Einschließlich militärischer Dienststellen, aber jeweils ohne Kraftstoffe. - <sup>4)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr und Emissionen der mobilen Aggregate in Kleinverbrauch, Industrie und Militär. - <sup>5)</sup> Emissionen in Anlehnung an Prognos.-

#### 4.2 Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“

In dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ dürften die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005 um 147 Mill. t oder um 14,5 % niedriger sein als 1990; gegenüber 1995 würde die Reduktion knapp 27 Mill. t oder 3 % betragen (vgl. Tabelle 92).

Die in den letzten Jahren insbesondere auf Bundesebene ergriffenen Klimaschutzpolitischen Maßnahmen führen dazu, daß die CO<sub>2</sub>-Emissionen über die gesamte Betrachtungsperiode hinweg in allen Sektoren - außer im Verkehr - sinken. Dabei kommt es - wie im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ - zu einer überdurchschnittlich starken Emissionsminderung bei der Industrie und im Energiesektor. Aber auch bei den Kleinverbrauchern und bei den privaten Haushalten werden sich die Emissionen deutlich reduzieren.

Im Verkehrssektor muß jedoch noch mit einer weiteren Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen gerechnet werden: Im Jahre 2005 dürften sie hier um rund 40 Mill. t oder um ein Fünftel höher sein als 1990.

Tabelle 92:

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2005  
im „Mit-Maßnahmen-Szenario“**

Sektoren	Ist-Werte		Szenario-Werte					
	1990	1995 <sup>1)</sup>	2000 <sup>2)</sup>	2005 <sup>2)</sup>	90/95	95/05	90/05	
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t				Veränderungen in %			
Industrie	169,7	126,8	116,9	107,1	-25,3	-15,5	-36,9	
Kleinverbraucher <sup>3)</sup>	75,7	51,9	61,6	56,5	-31,5	8,9	-25,4	
Haushalte	128,4	135,2	115,9	110,7	5,3	-18,1	-13,8	
Verkehr <sup>4)</sup>	184,9	196,1	223,0	224,0	6,0	14,3	21,1	
Summe Endenergiesektoren	558,8	509,9	517,5	498,4	-8,7	-2,3	-10,8	
Kraftwerke	353,6	317,5	316,7	318,9	-10,2	0,4	-9,8	
Fernwärme	42,9	31,7	30,0	27,5	-26,0	-13,4	-35,9	
übriger Energiesektor <sup>5)</sup>	43,0	24,0	21,0	19,0	-44,1	-20,9	-55,8	
Summe Energiesektor	439,4	373,2	367,8	365,3	-15,1	-2,1	-16,9	
Insgesamt	998,2	883,1	885,3	863,7	-11,5	-2,2	-13,5	
Außerdem: Erneuerbare Energien	-	-	-2,3	-5,6	-	-	-	
Summe energiebedingte Emissionen	998,2	883,1	882,9	858,1	-11,5	-2,8	-14,0	
Prozeßbedingte Emissionen	27,5	25,2	26,0	25,3	-8,4	0,4	-8,1	
Emissionen insgesamt	1025,7	908,3	909,0	883,4	-11,4	-2,7	-13,9	
abzgl. internat. Luftverkehr <sup>5)</sup>	11,6	13,9	15,0	15,9	19,8	14,3	36,9	
Emissionen ohne internat. Luftverkehr	1014,2	894,5	894,0	867,5	-11,8	-3,0	-14,5	

<sup>1)</sup> Vorläufige Angaben errechnet auf der Basis von Energiebilanzdaten.- <sup>2)</sup> Mittelwerte, sofern für die einzelnen Sektoren Bandbreiten angegeben wurden.- <sup>3)</sup> Einschließlich militärischer Dienststellen, aber jeweils ohne Kraftstoffe.- <sup>4)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr und Emissionen der mobilen Aggregate in Kleinverbrauch, Industrie und Militär.- <sup>5)</sup> Emissionen in Anlehnung an Prognos.-

<sup>1)</sup> Vorläufige Angaben errechnet auf der Basis von Energiebilanzdaten. - <sup>2)</sup> Mittelwerte, sofern für die einzelnen Sektoren Bandbreiten angegeben wurden. - <sup>3)</sup> Einschließlich militärischer Dienststellen, aber jeweils ohne Kraftstoffe. - <sup>4)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr und Emissionen der mobilen Aggregate in Kleinverbrauch, Industrie und Militär. - <sup>5)</sup> Emissionen in Anlehnung an Prognos.-

Gegenüber dem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ können die CO<sub>2</sub>-Emissionen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ bis 2005 um 116 Mill. t oder um 12 % gesenkt werden. Besonders hohe absolute Beiträge zu dieser Reduktion leisten die Haushalte (-28 Mill. t) und der Bereich der Stromerzeugung (-27 Mill. t); aber auch die Beiträge der übrigen Endenergiesektoren fallen ins Gewicht (Kleinverbraucher: -17 Mill. t; Industrie: -15 Mill. t; Verkehr: -12 Mill. t). Durch die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen dürfte die Emissionsbilanz im Vergleich dieser beiden Szenarien um beinahe 19 Mill. t entlastet werden.

Im Vergleich zu dem von RWI/Ifo vorgelegten sog. IMA-Szenario fällt die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ etwas schwächer aus: Einem relativen Rückgang von knapp 17 % bei RWI/Ifo steht hier ein solcher von fast 15 % gegenüber; die absolute Differenz macht 23,7 Mill. t CO<sub>2</sub> aus (vgl. Tabelle 93).

Tabelle 93:

**Vergleich des RWI/Ifo-IMA-Szenarios mit dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“:  
Jeweilige Veränderungen der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 2005**

	Veränderungen 1990 bis 2005 <sup>a)</sup>			
	RWI/Ifo: IMA-Szenario	Mit-Maßnahmen- Szenario <sup>b)</sup>	RWI/Ifo: IMA-Szenario	Mit-Maßnahmen- Szenario <sup>b)</sup>
	Mill. t CO <sub>2</sub>		% (gerundet)	
Insgesamt <sup>c)</sup>	-167,3	-143,6	-17	-15
dar.: Energiesektor	-78,2	-74,1	-18	-17
Industrie	-68,5	-62,6	-41	-37
Summe Verkehr	24,5	40,3	15	25
Kleinverbrauch	-26,0	-15,5	-35	-20
Private Haushalte	-14,8	-17,7	-11	-14
militärische Dienststellen	-4,3	-8,3	-44	-74

<sup>a)</sup> Bezogen auf die jeweiligen Basiswerte für 1990, die in den beiden Studien nicht identisch sind.  
<sup>b)</sup> Die sektorale Zuordnung der Emissionen im "Mit-Maßnahmen-Szenario" wurde - soweit möglich - der sektoralen Abgrenzung im RWI/Ifo-IMA-Szenario angepaßt.  
<sup>c)</sup> Emissionssumme bei RWI/Ifo ohne Hochseebunker, beim "Mit-Maßnahmen-Szenario" unter Berücksichtigung des sektoral nicht zugeordneten Minderungsbeitrages der erneuerbaren Energien.

Vergleichsweise gering sind die Differenzen in der Einschätzung der Emissionsveränderungen für den Energiesektor (-18 % versus -17 %), für die privaten Haushalte (-11 % versus -14 %) sowie für die Industrie (-41 % versus -37 %). Bedeutsamer sind die unterschiedlichen Ergebnisse für den Verkehrssektor, dessen Emissionen nach dem hier vorgelegten Szenario mit 25 % deutlich stärker steigen als im RWI/Ifo-IMA-Szenario (+15 %), sowie für den Bereich der Kleinverbraucher, für den RWI/Ifo einen Rückgang um 35 % annehmen, während hier nur mit einer Verminderung um 20 % gerechnet wird.

In diesen Differenzen kommen einerseits unterschiedliche Rahmendaten zum Ausdruck - so wird von RWI/Ifo ein deutlich schwächeres Wirtschaftswachstum unterstellt als in den hier von Prognos übernommenen Annahmen; umgekehrt aber ein etwas stärkerer Bevölkerungsanstieg -, andererseits bestehen auch unterschiedliche Einschätzungen über die künftige Entwicklung des motorisierten Verkehrs. Wesentlich ist weiterhin die Tatsache, daß RWI/Ifo in ihrem IMA-Szenario Maßnahmen berücksichtigt haben (wie vor



allem eine CO<sub>2</sub>-/Energiesteuer), die definitionsgemäß (d.h. nach den Kriterien des IPCC) nicht dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ zugerechnet werden dürfen. Eine entsprechend revidierte Rechnung des RWI führte denn auch zu dem Ergebnis, daß bei gleicher Maßnahmenabgrenzung die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005 nach dem IMA-Szenario „nur“ um 14,8 % niedriger wären als 1990. Damit schrumpfen die Abweichungen zwischen den hier verglichenen Szenarien auf einen nahezu marginalen Betrag.

Trotz der unbestreitbaren Emissionsminderungserfolge bleiben die Ergebnisse RWI/Ifo-IMA-Szenarios wie die des „Mit-Maßnahmen-Szenarios“ noch recht deutlich von dem verfolgten Reduktionsziel um 25 % entfernt. Um dieses zu erreichen, müßten die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2005 gegenüber dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ um weitere knapp 110 Mill. t oder zusätzlich um reichlich 10 Prozentpunkte verringert werden.

#### 4.3 Das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“

Das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“, das die grundsätzlich als realisierbar erscheinenden klimaschutzpolitischen Maßnahmen (s.o.) zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in dem von der Bundesregierung angestrebten Ausmaß untersucht, kommt zu dem Ergebnis, daß die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005 um reichlich 270 Mill. t oder um rund 27 % niedriger ausfallen könnten als 1990 (vgl. Tabelle 94). Unter der Voraussetzung, daß die jeweils vorgeschlagenen Maßnahmen auch umgesetzt werden, könnte also das Ziel der Bundesregierung erreicht werden.

Besonders hohe Zielerreichungsbeiträge werden von der Industrie, der Kraftwirtschaft und von den Haushalten erwartet: An der absoluten Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zeitraum von 1990 bis 2005 sind die Kraftwerke mit 29 %, die Industrie mit 26 %, die Haushalte mit 14 % und die Kleinverbraucher mit gut 10 % beteiligt.

Im Verkehr kommt es in diesem Szenario gegenüber 1990 nur noch zu einem leichten Anstieg der Emissionen; im Vergleich zu 1995 bedeutet dies sogar eine geringe Verminderung. Es ist deutlich darauf hinzuweisen, daß das Eintreten der Ergebnisse des „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarios“ unabdingbar davon abhängig sein dürfte, daß im Verkehrssektor zumindest eine solche deutlich abgeschwächte Entwicklung herbeigeführt werden kann. Die angestrebten klimaschutzpolitischen Ziele werden vor diesem Hinter-

grund also nur dann erfolgreich umgesetzt werden können, wenn die Emissionstrends im Verkehrssektor gestoppt oder sogar umgekehrt werden können.

Tabelle 94:

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2005  
im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“**

Sektoren	Ist-Werte		Szenario-Werte				
	1990	1995 <sup>1)</sup>	2000 <sup>2)</sup>	2005 <sup>2)</sup>	90/95	95/05	90/05
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t				Veränderungen in %		
Industrie	169,7	126,8	116,1	99,3	-25,3	-21,7	-41,5
Kleinverbraucher <sup>3)</sup>	75,7	51,9	60,6	47,3	-31,5	-8,8	-37,5
Haushalte	128,4	135,2	109,0	89,9	5,3	-33,5	-30,0
Verkehr <sup>4)</sup>	184,9	196,1	217,0	194,0	6,0	-1,0	4,9
Summe Endenergiesektoren	558,8	509,9	502,7	430,6	-8,7	-15,6	-23,0
Kraftwerke	353,6	317,5	303,5	274,8	-10,2	-13,4	-22,3
Fernwärme	42,9	31,7	30,1	28,1	-26,0	-11,4	-34,5
übriger Energiesektor <sup>5)</sup>	43,0	24,0	20,0	16,0	-44,1	-33,4	-62,8
Summe Energiesektor	439,4	373,2	353,5	318,9	-15,1	-14,5	-27,4
Insgesamt	998,2	883,1	858,2	749,3	-11,5	-15,1	-24,9
Außerdem: Erneuerbare Energien	-	-	-8,0	-15,1	-	-	-
Summe energiebedingte Emissionen	998,2	883,1	848,2	734,2	-11,5	-16,9	-26,4
Prozeßbedingte Emissionen	27,5	25,2	25,5	21,6	-8,4	-14,2	-21,5
Emissionen insgesamt	1025,7	908,3	873,7	755,8	-11,4	-16,8	-26,3
abzgl. internat. Luftverkehr <sup>5)</sup>	11,6	13,9	15,0	15,9	19,8	14,3	36,9
Emissionen ohne internat. Luftverkehr	1014,2	894,5	858,7	740,0	-11,8	-17,3	-27,0

<sup>1)</sup> Vorläufige Angaben errechnet auf der Basis von Energiebilanzdaten.- <sup>2)</sup> Mittelwerte, sofern für die einzelnen Sektoren Bandbreiten angegeben wurden.- <sup>3)</sup> Einschließlich militärischer Dienststellen, aber jeweils ohne Kraftstoffe.- <sup>4)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr und Emissionen der mobilen Aggregate in Kleinverbrauch, Industrie und Militär.- <sup>5)</sup> Emissionen in Anlehnung an Prognos.-

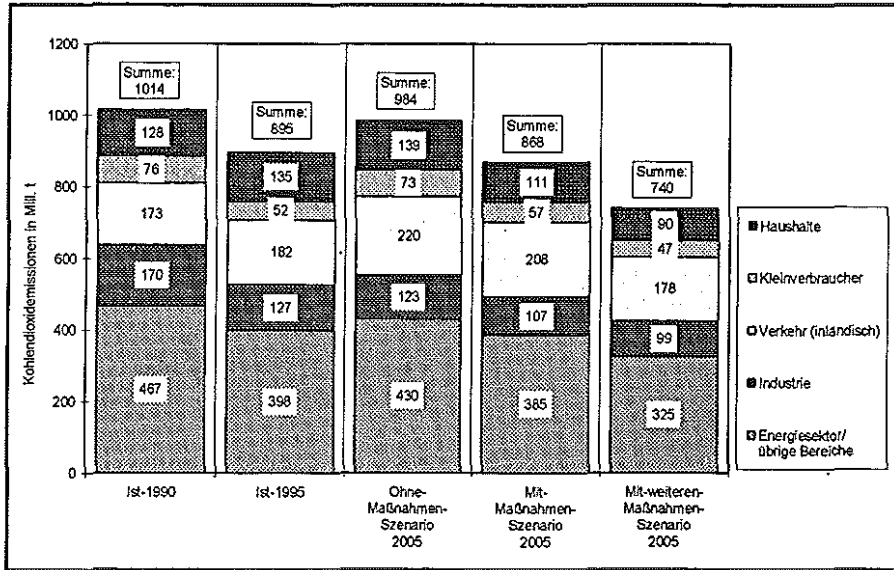
Wesentlich ist auch die Erkenntnis, daß sich die Realisierung des Reduktionszieles nicht nur auf einige wenige Maßnahmen stützen darf - dies müßte notwendigerweise in den betroffenen Bereichen zu übersteigerten Eingriffen führen (wie im RWI/Ifo-Enquete-Szenario bei der Kraft-Wärme-Kopplung und bei der flächendeckenden Wärmedämmung im Gebäudebestand) -, sondern den Einsatz komplexer Maßnahmenbündel in allen Bereichen erfordert. Von zentraler Bedeutung für die Realisationsfähigkeit des Reduktionszieles ist aber der zeitliche Aspekt: Nur wenn die notwendigen Maßnahmen und Maßnahmenbündel unverzüglich umgesetzt werden, besteht in der verbleibenden kurzen Zeit von nur noch 8 bis 9 Jahren die Chance auf Zielerreichung. Ansonsten wäre die Zielverfehlung von vornherein programmiert.

#### 4.4 Die Szenarien in der Gegenüberstellung und in der IPCC-Abgrenzung

Im Abbildung 5 sind noch einmal die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Jahren 1990 und 1995 sowie für das Jahr 2005 in den drei Szenarien dargestellt.

Abbildung 5:

#### CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2005 in den drei Szenarien



Die nach Sektoren gegliederten absoluten Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Periode 1990 bis 2005 sind der Abbildung 6, die relativen Veränderungen der Abbildung 7 zu entnehmen.

In der Tabelle 95 sind die Ergebnisse für die drei Szenarien zahlenmäßig einander gegenübergestellt worden. Dabei wurde die sektorale Gliederung, wie sie in der hier vorgelegten Untersuchung gewählt worden ist, zugleich „übersetzt“ in die Gliederung, die sich aus den IPCC-Guidelines für die Erstellung der Nationalberichte ergibt. Eine Kommentierung erübrigt sich an dieser Stelle.

Abbildung 6:

**Absolute Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland  
von 1990 bis 2005 in den drei Szenarien**

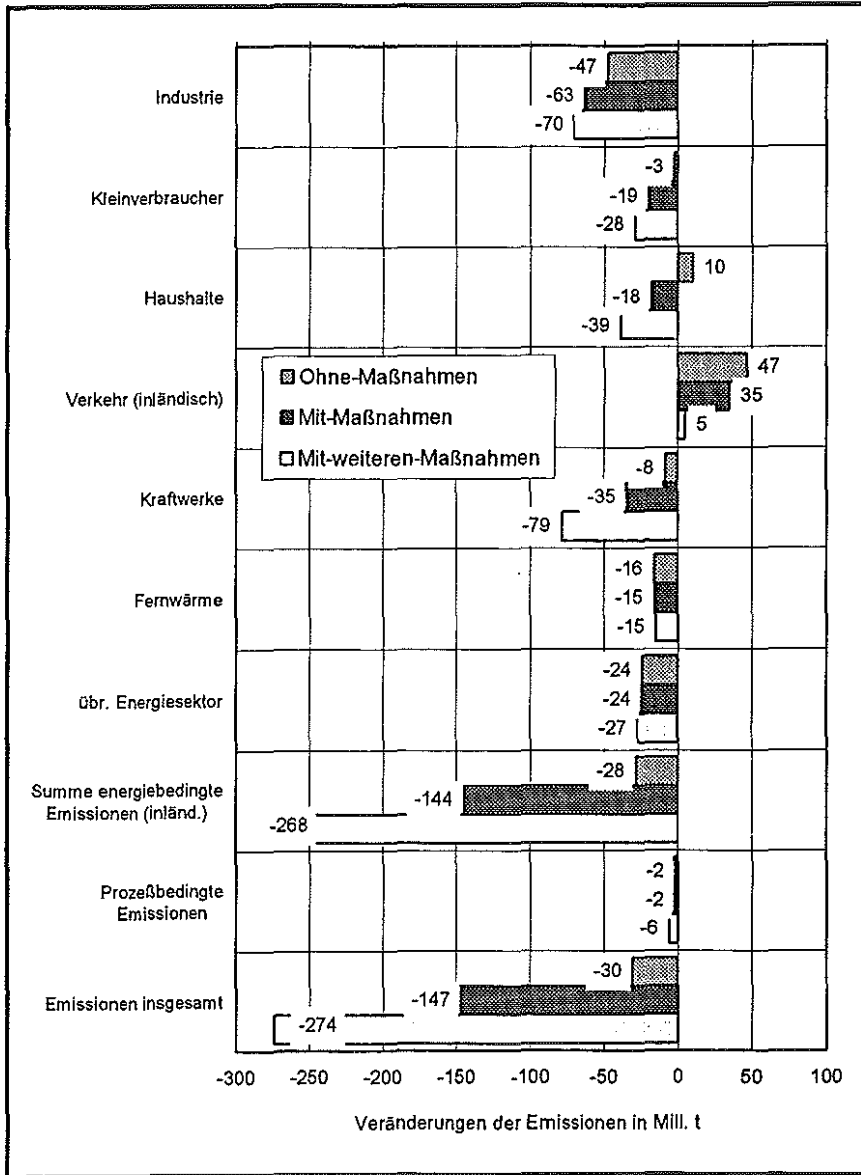
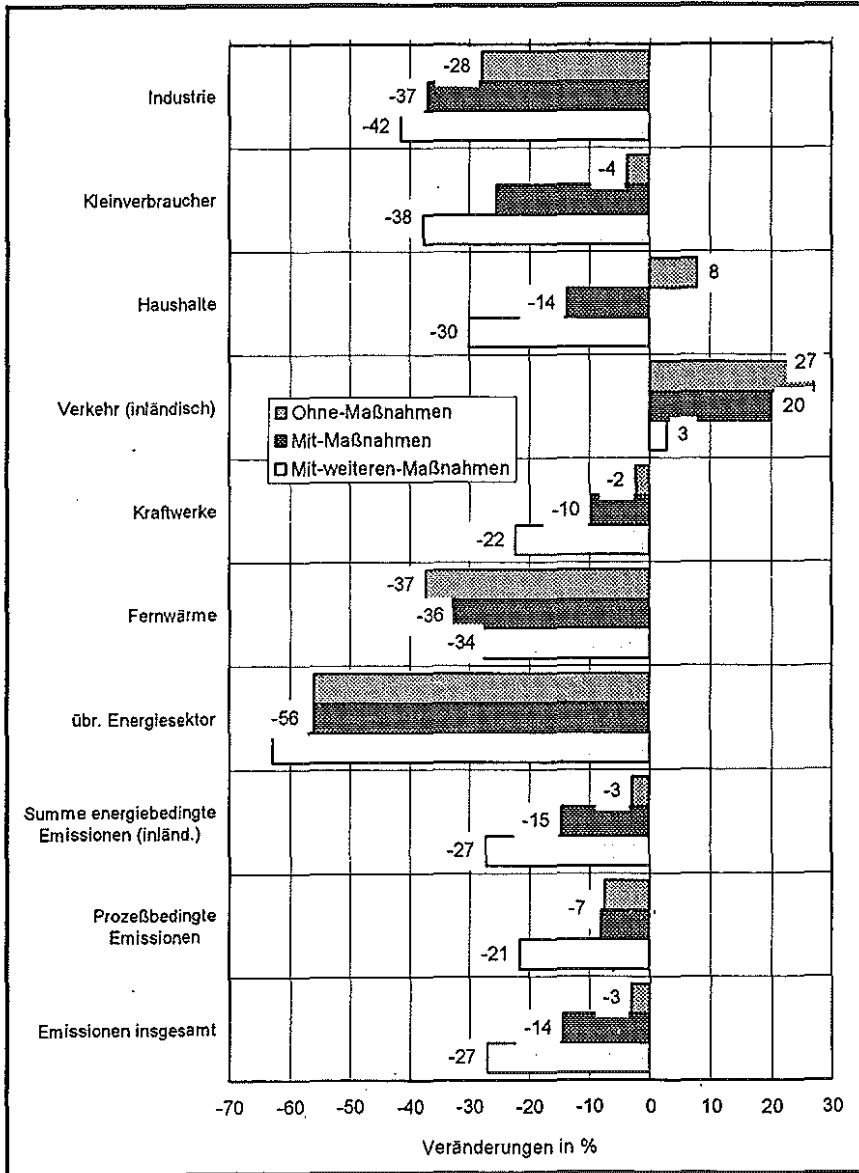


Abbildung 7:

**Relative Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland  
von 1990 bis 2005 in den drei Szenarien**





## 5 Der Einfluß des veränderten Außenhandels mit energieintensiven Erzeugnissen auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Industrie<sup>41</sup>

In Kapitel II.4.1 war bereits darauf hingewiesen worden, daß der inter- und intraindustrielle Strukturwandel - nicht zuletzt wegen der Veränderungen in der ostdeutschen Industrie - einen erheblichen Einfluß auf die Energieintensität der Industrie und damit ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen hatte. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit der Strukturwandel allein durch inländische Nachfrageverschiebungen oder auch durch einen veränderten Außenhandel an energieintensiven Erzeugnissen begründet ist. Denn in nicht unerheblichem Ausmaß wechseln energieintensive Produkte die Grenzen, wobei seit den frühen 70er Jahren die Außenhandelsbilanz der "grauen Energie", d.h. der für die Herstellung der Produkte erforderliche Energie, zunehmend negativ wurde.

Daher soll im folgenden untersucht werden, inwieweit auch veränderte Außenhandelsströme mit energieintensiven Erzeugnissen den Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Industrie beeinflußt haben. Für ausgewählte energieintensive Produkte wurde deshalb der Außenhandel der alten Bundesländer für die Jahre 1980 und 1990 und derjenige von Deutschland insgesamt im Jahre 1995 analysiert und nach der Substitutionsmethode energetisch und emissionsseitig bewertet. Danach werden für die Herstellung der importierten Erzeugnisse der gleiche durchschnittliche spezifische Energieverbrauch bzw. die gleichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen unterstellt wie für die inländischen Erzeugnisse.

Die großen Wechsel vom Nettoexporteur zum Nettoimporteur innerhalb des Zeitraumes von 1980 bis 1995 waren zu beobachten beim Portlandzement, bei Roheisenblöcken, Chlor, Ethylen und PVC (vgl. Tabelle 96). Die Nettoimporte, die schon 1980 für Hüttenaluminium und Zellstoff bestanden hatten, nahmen noch weiter zu. Dagegen wechselten drei Erzeugnisse - Kalk, Aromaten und Ammoniak - von 1980 bis 1995 vom Nettoimporteur zum Nettoexporteur.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom ISI bearbeitet.

<sup>42</sup> Zu beachten sind die Einschränkungen für diesen Vergleich, da die Ergebnisse für zwei unterschiedliche Gebietsstände (nur alte Bundesländer sowie Deutschland insgesamt) gegenübergestellt werden.

Tabelle 96:

**Außenhandelsaldo einiger energieintensiver Industrieerzeugnisse  
in Deutschland in den Jahren 1980, 1990 und 1995(1994) in Mill. t**

Erzeugnis <sup>1)</sup>	1980 <sup>2)</sup>	1990 <sup>2)</sup>	1995 <sup>3)</sup>
Roheisenblöcke <sup>4)</sup>	0,757	0,309	-0,224
Stahlrohrblöcke <sup>4)</sup>	0,718	-0,148	0,280
Hüttenaluminium <sup>4)</sup>	-0,376	-0,560	-0,880
Kupfer, raffiniert <sup>4)</sup>	-0,371	-0,458	-0,374
Portlandzement	1,031	0,175	-4,962
Kalk	-0,146	-0,169	0,021
Chlor	0,026	-0,075	-0,039
Sauerstoff	-0,002	-0,025	-0,072
Soda	0,038	0,183	0,277
Methanol	-0,524	-0,564	-0,377
Ammoniak	-0,016	0,207	0,206
Ethylen	0,216	-0,571	-0,063
Aromaten	-0,227	-0,005	0,408
PVC	0,420	0,158	-0,034
Zellstoff	-2,250	-3,320	-3,407
Holzschliff	keine Angabe	-0,106	-0,064
Papier, Pappe	-2,062	-2,669	-1,006

<sup>1)</sup> Positive Zahlen = Nettoexporte, negative Zahlen = Nettoimporte.-  
<sup>2)</sup> Nur alte Bundesländer.- <sup>3)</sup> Deutschland insgesamt.-  
<sup>4)</sup> Die unter 1995 ausgewiesenen Angaben beziehen sich auf 1994.  
 Quellen: Statistisches Jahrbuch Eisenschaffende Industrie; Metallstatistik,  
 Statistisches Bundesamt; VDP; Berechnungen durch FhG-ISI.

Berechnet man den Energiebedarf (auf Basis spezifischer Werte für 1994/95) für die einzelnen Außenhandelsströme nach der Substitutionsmethode und multipliziert sie mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (für Deutschland, 1995), so gelangt man zu folgenden Ergebnissen (vgl. auch Tabelle 97):

- Bereits im Jahre 1980 waren bezogen auf die alten Bundesländer die Außenhandelsströme der untersuchten 17 energieintensiven Erzeugnisse mit einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 7,6 Mill. t im Ausland verbunden. Er wurde im wesentlichen hervorgerufen durch Nettoimporte von Hüttenaluminium (-4,2 Mill. t CO<sub>2</sub>), Kupfer (-0,54 Mill. t CO<sub>2</sub>), Zellstoff (-2,8 Mill. t CO<sub>2</sub>) und Papier, Pappe (-1,6 Mill. t CO<sub>2</sub>);
- Infolge der o.g. Veränderungen im Netto-Außenhandel der alten Bundesländer mit energieintensiven Erzeugnissen verdoppelte sich dieser Wert bis 1990 auf 14,3 Mill. t nahezu;



Tabelle 97:

**CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Netto-Außenhandel energieintensiver Erzeugnisse  
im In- und Ausland in den Jahren 1980, 1990 und 1995(1994) in Mill. t<sup>1)</sup>**  
(berechnet nach der Substitutionsmethode)

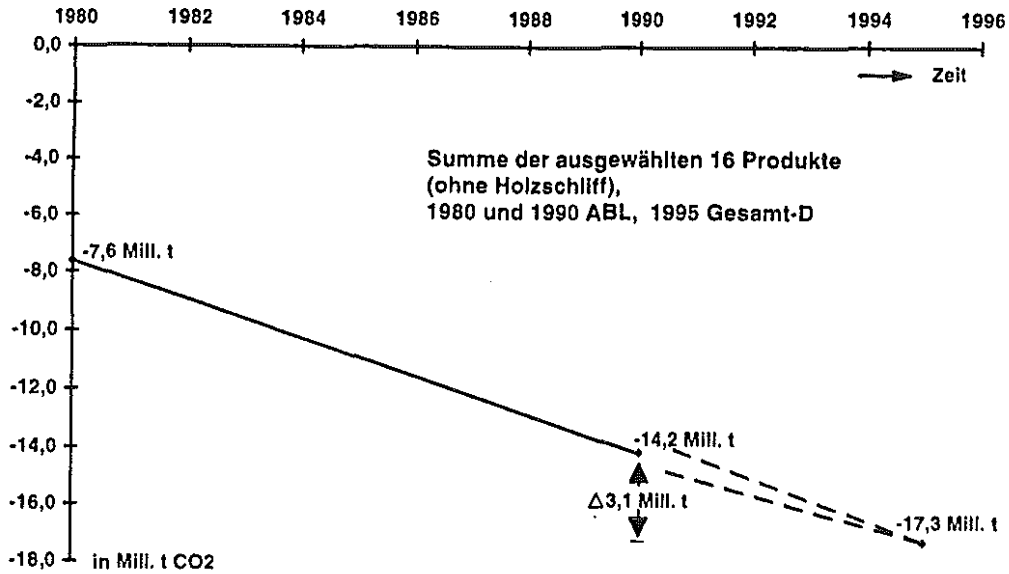
Erzeugnis	1980 <sup>2)</sup>	1990 <sup>2)</sup>	1995 <sup>3)</sup>
Roheisenblöcke <sup>4)</sup>	1,040	0,430	-0,310
Stahlrohrlöcke <sup>4)</sup>	0,320	-0,066	0,120
Hüttenaluminium <sup>4)</sup>	-4,200	-6,260	-9,830
Kupfer, raffiniert <sup>4)</sup>	-0,540	-0,660	-0,540
Zement	0,330	0,550	-1,570
Kalk	-0,006	-0,070	0,008
Chlor	0,050	-0,150	-0,077
Sauerstoff	-0,001	-0,007	-0,020
Soda	0,025	0,120	0,180
Methanol	-0,480	-0,520	-0,350
Ammoniak	-0,001	0,160	0,160
Ethylen	0,370	-0,970	-0,110
Aromaten	-0,037	0,000	0,067
PVC	0,000	0,036	-0,007
Zellstoff	-2,800	-4,140	-4,250
Holzschliff	0,000	-0,130	-0,078
Papier, Pappe	-1,600	-2,120	-0,790
Summe	-7,620	-14,290	-17,400
<sup>1)</sup> Positive Zahlen sind Nettoemissionen im Inland, negative Zahlen stellen Nettoemissionen im Ausland dar.- <sup>2)</sup> Nur alte Bundesländer.- <sup>3)</sup> Deutschland insgesamt.- <sup>4)</sup> Die unter 1995 ausgewiesenen Angaben beziehen sich auf 1994. Quelle: Berechnungen durch FhG-ISI.			

- Im Jahre 1995 betrugen die Nettoaußenhandelswerte in Deutschland insgesamt 17,4 Mill. t. Gegenüber dem Wert im Jahre 1990 in den alten Bundesländern war das eine Zunahme um knapp 3,1 Mill. t CO<sub>2</sub>. Bei unveränderter Struktur des Außenhandels wären diese 3,1 Mill. t CO<sub>2</sub> in der Bundesrepublik Deutschland zusätzlich emittiert worden.

Alles in allem läßt sich feststellen, daß sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der deutschen Industrie auch deshalb zurückgebildet haben, weil zunehmend energieintensive Erzeugnisse im Ausland produziert und in die Bundesrepublik Deutschland importiert wurden (vgl. Abbildung 8). Heute ist die Netto-CO<sub>2</sub>-Bilanz energieintensiver Produkte nur noch für ganz wenige energieintensive Erzeugnisse positiv, z. B. für Soda, Ammoniak, Aromaten und Kalk. In der Summe macht dies nur wenig mehr als 0,5 Mill. t CO<sub>2</sub> aus.

Abbildung 8:

**Im Ausland verursachte CO<sub>2</sub>-Emissionen durch steigende Nettoimporte von 16 energieintensiver Industrieerzeugnissen in den Jahren 1980, 1990 und 1995 (berechnet nach der Substitutionsmethode)**



Quelle: FhG-ISI

Für die Zukunft ist nicht abzusehen, daß sich dieser Trend verlangsamt. Dafür sprechen folgende Gründe:

- Für Hüttenaluminium ist mit Sicherheit anzunehmen, daß die inländische Produktion weiterhin nach Ländern wie Kanada und Australien mit wesentlich geringeren Strompreisen ausgelagert werden wird.<sup>43</sup>
- Für einige organische Grundchemikalien und Massenkunststoffe wie PVC dürften Standorte an der westeuropäischen Küsten und in den OPEC-Staaten günstiger sein.
- Sofern der inländische Zellstoffbedarf weiter steigen sollte, dürfte der durch Importe aus Skandinavien und anderen Ländern gedeckt werden.

---

<sup>43</sup> Im Einzelfall mag die hier verwendete Substitutionsmethode zur Ermittlung der indirekt importierten CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht korrekt sein, z.B. hinsichtlich der Wasserkraft in Kanada. Da aber die Importe aus mehreren Ländern stammen, mittelt sich meistens der spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionswert in die Größenordnung der Werte für Deutschland (z.B. beruht in Australien die Stromerzeugung fast nur auf Kohle).

## 6 Zusammenfassung der Entwicklung der energiebedingten und sonstigen Treibhausgasemissionen in den drei Szenarien<sup>44</sup>

Im folgenden werden die Ergebnisse der Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit denjenigen für die im Teilvorhaben 3 behandelten anderen Treibhausgase verknüpft.

Grundsätzlich erhebt sich dabei die Frage, inwieweit die nicht-energiebedingten Treibhausgase sowie Methan und N<sub>2</sub>O, soweit sie auch energiebedingt sind, nicht mit dazu beitragen, die Erreichung des von der Bundesregierung für CO<sub>2</sub> gesteckte Reduktionsziel zu unterstützen. Denn wenn diese Treibhausgasemissionen ohne relativ großen Aufwand um mehr als 25 % bis 2005 reduziert werden könnten, so wäre ihr relativer Beitrag zu diesem Ziel von größerem Interesse.

Der relative Beitrag von Methan und N<sub>2</sub>O kann jeweils über den Wert des sog. Global Warming Potentials (GWP-Wert) ermittelt werden. Dieser Wert gibt an, um wieviel mal intensiver Methan oder N<sub>2</sub>O gegenüber CO<sub>2</sub> die einstrahlende Wärme bei gleichen Emissionsmengen zurückhalten.

Betrachtet man für eine erste Orientierung die Entwicklung im „*Ohne-Maßnahmen-Szenario*“, so reduzieren sich bis zum Jahre 2005 die Emissionen aller Treibhausgase bis auf die sonstigen N<sub>2</sub>O-Emissionen schneller als die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in diesem Fall nur um reichlich 2 % abnehmen (vgl. Tabelle 98).

Mit den inzwischen *ergriffenen Maßnahmen* aller Akteure zeigt sich, daß das strukturelle Verhalten für die meisten Treibhausgase erhalten bleibt. Allerdings verzögern jetzt die prozeßbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und die energiebedingten N<sub>2</sub>O-Emissionen die Verminderung zu geringeren Treibhausgasemissionen (vgl. Tabelle 99). Hier macht sich einmal bemerkbar, daß die (allerdings relativ geringen) prozeßspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen vom Produktions-Output abhängen, der nicht einfach reduziert werden kann, sowie von den fahrzeugbedingten N<sub>2</sub>O-Emissionen, die mit dem Einsatz des Katalysators zur Verminderung der konventionellen Luftschadstoffe zunehmen.

<sup>44</sup> Dieses Kapitel wurde federführend vom ISI bearbeitet.

Tabelle 98:

**Entwicklung der energiebedingten und sonstigen Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“**

	1990	1995	2000	2005	Veränderungen 1990 bis 2005
	Mill. t				%
<b>CO<sub>2</sub></b>					
- energiebedingt <sup>1)</sup>	998,2	883,1	949,3	974,2	-2,4
- prozeßbedingt	27,5	25,2	26,1	25,5	-7,5
- nichtenergetischer Verbrauch <sup>2)</sup>	17,0	18,9	20,0	21,0	23,5
<b>Methan</b>					
- verbrennungsbedingt	0,21	0,15	0,114	0,106	-49,5
- Verdunstung, Kohlebergbau	1,55	1,11	1,100	0,866	-44,1
- sonstige	4,25	3,85	3,85	3,85	-9,4
<b>N<sub>2</sub>O</b>					
- energiebedingt	0,037	0,041	0,035	0,033	-10,8
- sonstige	0,213	0,200	0,221	0,221	3,8
<b>GWP<sup>3)</sup></b>	1246	1109	1181	1201	-3,7
- energiebedingt	1047	922	986	1005	-4,0
- sonstige	200	187	195	196	-2,0
<b>NMVO<sup>4)</sup></b>					
- energiebedingt	0,22	kA	0,21	0,20	-9,1
- sonstige	1,36	kA	1,25	1,20	-11,8

<sup>1)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr. - <sup>2)</sup> Nach IPCC-Methode berechnet; nicht enthalten sind thermische Verwertung organischer Rückstände, und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Industriekläranlagen (ca. 5 Mill. t). Wert für 1990 geschätzt. -  
<sup>3)</sup> Das Global Warming Potential wurde mit folgenden Faktoren berechnet: CO<sub>2</sub> = 1; Methan = 21; N<sub>2</sub>O = 310. -  
<sup>4)</sup> Nicht methanhaltige Kohlenwasserstoff-Emissionen als Vorläufersubstanz zum troposphärischen Ozon  
 Quellen: Patel u.a., 1996; Öko-Institut, DIW, ISI.

Tabelle 99:

**Entwicklung der energiebedingten und sonstigen Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 im „Mit-Maßnahmen-Szenario“**

	1990	1995	2000	2005	Veränderungen 1990 bis 2005
	Mill. t				%
<b>CO<sub>2</sub></b>					
- energiebedingt <sup>1)</sup>	998,2	883,1	882,9	858,1	-14,0
- prozeßbedingt	27,5	25,2	26,0	25,3	-8,1
- nichtenergetischer Verbrauch <sup>2)</sup>	17,0	18,9	18,0	17,0	0,0
<b>Methan</b>					
- verbrennungsbedingt	0,21	0,15	0,088	0,081	-61,4
- Verdunstung, Kohlebergbau	1,55	1,11	0,951	0,752	-51,5
- sonstige	4,25	3,85	3,17	2,49	-41,4
<b>N<sub>2</sub>O</b>					
- energiebedingt	0,037	0,041	0,045	0,043	16,2
- sonstige	0,213	0,200	0,137	0,134	-37,1
<b>GWP<sup>3)</sup></b>	1246	1109	1072	1025	-17,8
- energiebedingt	1047	922	919	889	-15,1
- sonstige	200	187	153	136	-31,9
<b>NMVO<sup>4)</sup></b>					
- energiebedingt	0,22	kA	0,10	0,04	-81,8
- sonstige	1,36	kA	1,15	1,04	-23,5

<sup>1)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr. - <sup>2)</sup> Nach IPCC-Methode berechnet; nicht enthalten sind thermische Verwertung organischer Rückstände, und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Industriekläranlagen (ca. 5 Mill. t). Wert für 1990 geschätzt. -  
<sup>3)</sup> Das Global Warming Potential wurde mit folgenden Faktoren berechnet: CO<sub>2</sub> = 1; Methan = 21; N<sub>2</sub>O = 310. -  
<sup>4)</sup> Nicht methanhaltige Kohlenwasserstoff-Emissionen als Vorläufersubstanz zum troposphärischen Ozon  
 Quellen: Patel u.a., 1996; Öko-Institut, DIW, ISI.

Insgesamt vermindert sich aber das Global Warming Potential im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ in der Periode von 1990 bis 2005 um knapp 18 %; dabei gehen der energiebedingte GWP-Wert rund 15 % und der sonstige GWP-Wert um beinahe ein Drittel zurück.

Im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ geht der GWP-Wert von 1990 bis 2005 alles in allem um reichlich 28 % zurück (vgl. Tabelle 100).

Tabelle 100:

**Entwicklung der energiebedingten und sonstigen Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“**

	1990	1995	2000	2005	Veränderungen 1990 bis 2005
	Mill. t				%
CO <sub>2</sub>					
- energiebedingt <sup>1)</sup>	998,2	883,1	848,2	734,2	-26,4
- prozeßbedingt	27,5	25,2	25,5	21,6	-21,5
- nichtenergetischer Verbrauch <sup>2)</sup>	17,0	18,9	18,0	16,0	-5,9
Methan					
- verbrennungsbedingt	0,21	0,15	0,088	0,081	-61,4
- Verdunstung, Kohlebergbau	1,55	1,11	0,867	0,629	-59,4
- sonstige	4,25	3,85	3,17	2,47	-41,9
N <sub>2</sub> O					
- energiebedingt	0,037	0,041	0,045	0,043	16,2
- sonstige	0,213	0,200	0,134	0,127	-40,4
GWP <sup>3)</sup>	1246	1109	1034	891	-28,5
- energiebedingt	1047	922	882	762	-27,2
- sonstige	200	187	152	129	-35,5
NMVOCC <sup>4)</sup>					
- energiebedingt	0,22	kA	0,10	0,04	-81,8
- sonstige	1,36	kA	1,05	0,84	-38,2

<sup>1)</sup> Einschließlich internationaler Luftverkehr. - <sup>2)</sup> Nach IPCC-Methode berechnet; nicht enthalten sind thermische Verwertung organischer Rückstände, und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Industriekläranlagen (ca. 5 Mill. t). Wert für 1990 geschätzt. - <sup>3)</sup> Das Global Warming Potential wurde mit folgenden Faktoren berechnet: CO<sub>2</sub> = 1; Methan = 21; N<sub>2</sub>O = 310. - <sup>4)</sup> Nicht methanhaltige Kohlenwasserstoff-Emissionen als Vorläufersubstanz zum troposphärischen Ozon  
Quellen: Patel u.a., 1996; Öko-Institut, DIW, ISI.

Dabei zeigt sich allerdings, daß die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Szenario im Vergleich zum „Mit-Maßnahmen-Szenario“ deutlich stärker gesenkt werden können als die der übrigen Treibhausgase. Dennoch sind deren zusätzliche Reduktionsbeiträge so ausgeprägt, daß sie auch in diesem Szenario noch deutliche Minderungsbeiträge von mehr als 25 % leisten können.

Einzige Ausnahme ist der Verkehr, der seine N<sub>2</sub>O-Emissionen wegen des Katalysatoreinsatzes nicht weiter reduziert. Da diese Emissionen mit rund 43 000 t/a aber ein relativ kleines Gewicht haben, unterstützen die nicht-energiebedingten Treibhausgase sowie die

Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase das Ziel der Bundesregierung, wie sich an den Werten des Global Warming Potentials ablesen läßt:

- Die Werte des energiebedingten GWP-Wertes nehmen in allen Szenarien etwas mehr ab als die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und
- die Werte des GWP-Wertes der sonstigen Treibhausgase sinken im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ wie im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ jeweils weitaus stärker als die energiebedingten GWP-Werte.

Im übrigen ist zu beachten, daß das Gewicht der nicht-energiebedingten Treibhausgase am gesamten GWP-Wert mit etwa 13 bis 16 % nicht unerheblich ist, so daß die Klimapolitik gut beraten ist, auch diesen Emissionsquellen eine große Aufmerksamkeit zu widmen.

## IV IKARUS-Szenarien für eine klimaverträgliche Energieversorgung<sup>45</sup>

### 1 Einleitung

Die beiden Ziele des UFOPLAN-Vorhabens „Politik-Szenarien zum Klimaschutz“ sind die Quantifizierung der im Minderungskatalog des ersten Nationalberichtes enthaltenen Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die Identifizierung weiterer Maßnahmen, mit denen das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel der Bundesregierung im Jahre 2005 erreicht werden kann.

Bei der Bearbeitung des Projektes wurde ein zweigleisiges Vorgehen gewählt: Erstens die Quantifizierung von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündeln als „Bottom-up-Ansatz“ und zweitens die Anwendung des IKARUS-Optimierungsmodells, mit dessen Hilfe Reduktionsszenarien unter volkswirtschaftlich kostenminimalen Kriterien gerechnet werden können. Ergebnis dieser Modellrechnungen sind Reduktionsstrategien, die aus verschiedenen technologischen Minderungsmaßnahmen in den Verbrauchs- und Umwandlungssektoren bestehen. Dieser als „Top-down-Ansatz“ bewertete Reduktionsmaßnahmen im Kontext des vernetzten Energiesystems; d.h. es werden zwischen verschiedenen Maßnahmen bestehende Wechselwirkungen eingefangen.

In diesem Teil IV werden Referenz- und Reduktionsszenarien dargestellt und analysiert. Das Referenzszenario für das Jahr 2005 berücksichtigt implizit die seit 1990 ergriffenen Klimaschutzmaßnahmen. Die Reduktionsszenarien sind so aufgebaut, daß im Jahr 2005 der Zielwert der Bundesregierung für Deutschland von 25 % CO<sub>2</sub>-Reduktion - bezogen auf 1990 - erreicht wird. Die Ergebnisse der Reduktionsszenarien geben Hinweise darauf, welche zusätzlichen Maßnahmen auf der Technikenebene unter dem Kriterium der Gesamtsystemkostenminimierung ergriffen werden müßten. In einem weiteren Schritt werden, soweit wie möglich, die Ergebnisse der modellexogenen Wirkungsanalyse aus Teil II dieses Berichtes mit den vom IKARUS-Modell vorgeschlagenen Handlungsfeldern und Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit verglichen. Darüber hinaus werden Reduktionsoptionen vom IKARUS-Modell vorgeschlagen, die sich u.U. nicht oder nur

<sup>45</sup> Teil IV wurde von STE bearbeitet.



unzureichend im Einzelmaßnahmenkatalog wiederfinden. Diese Reduktionsstrategien werden zumindest ansatzweise auch hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit diskutiert.

Die in Teil II diskutierten Maßnahmen setzen vielfach in den Sektoren und Bereichen an, in denen auch das IKARUS-Modell (kostenminimale) CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale identifiziert hat. Da in der Realität einzelwirtschaftliche Akteure nach individuellen Kriterien handeln, die im Sinne des IKARUS-Modells nicht immer volkswirtschaftlich optimal sind und da das Modell bestimmte Hemmnisse, wie u.a. das Investor-Mieter-Dilemma im Gebäudebereich, nicht kennt, wird sich eine als optimal errechnete Strategie nicht automatisch in der zukünftigen Energiewirtschaft durchsetzen. Vielmehr muß dies mit Hilfe von staatlichen Maßnahmen (Verordnungen, Preispolitik, finanzielle Anreize oder sonstige Fördermaßnahmen) umgesetzt werden. In diesem Sinne können die in Teil II aufgeführten, modellexogen definierten Einzelmaßnahmen verstanden werden, so daß sich letztlich der Bottom-up-Ansatz mit Einzelmaßnahmen und der Top-down-Ansatz mit Hilfe des IKARUS-Modells gegenseitig ergänzen und gemeinsames Ziel dazu beitragen, Handlungsoptionen für eine klimaverträgliche Umweltpolitik aufzuzeigen.

Die Definition von Szenarien umfaßt die exogene Vorgabe prognostizierter Rahmendaten. Dies sind z.B. die Energieträgerpreise oder die energierelevanten Nachfragen der Nutzenergieseite. Anders als den in den vorstehenden Teilen beschriebenen Szenarien wurden entsprechend den Projektvereinbarungen den Modellrechnungen im wesentlichen die IKARUS-Rahmendaten zugrundegelegt. Unter Berücksichtigung des jüngsten Prognos-Gutachtens wurden allerdings einige Rahmendaten, z.B. Industrie-Nachfragen, modifiziert, um der aktuellen Entwicklung in diesem Bereich Rechnung zu tragen. Alle Rechnungen beruhen im übrigen auf den im Rahmen des IKARUS-Projektes erarbeiteten Datensätzen, die eine kosten-, energie- und emissionsseitige Beschreibung aller Techniken zum Inhalt haben.

Die Szenarien und die zugehörigen Rechenergebnisse werden maßgeblich von den durch Begrenzungen oder Restriktionen gesetzten Rahmengrößen bestimmt. Ein Teil dieser Parameter, wie die Verstromung der Kernenergie oder der heimischen Steinkohle, ist energiepolitisch bedingt. Bei diesen Vorgaben handelt es sich um abgestimmte Einschätzungen aller Projektpartner, die dem Auftraggeber sowie dem Interministeriellen Ar-

beitskreis CO<sub>2</sub> (IMA CO<sub>2</sub>) vorgestellt wurden. Diese Vorgaben, die zwar von allen Beteiligten als Szenarioparameter akzeptiert wurden, sind jedoch nicht unbedingt als offizielle Meinung der beteiligten Ressorts zu interpretieren.

Die Kapitel 2 und 3 behandeln zunächst grundsätzliche Fragen der Modellanwendung und Datencharakterisierung. In Kapitel 4 werden die Szenarien definiert und die zugehörigen Restriktionen erläutert. Die Rechenergebnisse und deren Interpretation sind in Kapitel 5 in sektorübergreifender Form dargestellt. In Kapitel 6 werden eine sektorale Detailanalyse der Optimierungsrechnungen sowie ein Vergleich mit den Ergebnissen der modellexogenen Einzelmaßnahmen-Quantifizierung und das Aufzeigen und Bewerten von Handlungsfeldern für die CO<sub>2</sub>-Reduktion vorgenommen.

## **2 Modellbeschreibung**

### **2.1 Was können Energiemodelle und was nicht?**

#### *Abbildung des Energiesystems*

Energiemodelle, wie das IKARUS LP-Modell, bilden mit Hilfe linearer Gleichungen und Ungleichungen vernetzte energiewirtschaftliche Prozesse in vereinfachter Form ab. Solche Prozesse sind die Gewinnung oder der Import von Primärenergie, die Umwandlung in Sekundärenergie und deren Verteilung sowie schließlich die Nutzung beim Endverbraucher. Dies bedeutet die Einbeziehung der gesamten Energieumwandlungskette. Das System ist komplex, da unterschiedliche Primärenergieträger eingesetzt, verschiedenartige Umwandlungsstufen durchlaufen und schließlich eine breite Palette von Endenergieformen bereitgestellt werden. Dabei wird eine große Zahl an Umwandlungs-, Transport- und Nutzungstechnologien eingesetzt. Neben technischen und ökonomischen Zusammenhängen ist das System von vielen energiepolitischen Rahmenbedingungen überlagert.

#### *Energiemodelle sind nur Rechenwerkzeuge*

Über die Leistungsfähigkeit von Energiemodellen herrschen oft falsche oder zu hohe Erwartungen. Sie werden häufig als universell einsetzbar angesehen, mit denen auf beliebige energiepolitische Fragestellungen eine Antwort gegeben werden kann. Tatsächlich sind Energiemodelle nichts anderes als Rechenwerkzeuge, die maschinell und ohne eige-

ne Kreativität nach einem programmierten Algorithmus Zahlenoperationen durchführen. Dabei sind solche Programme immer nur für ganz bestimmte zugeschnittene Fragestellungen verwendbar. Wichtig ist auf jeden Fall eine sachkundige Interpretation der Modelsergebnisse.

*Welche Fragestellungen lassen sich mit Energiemodellen beantworten?*

Bei der Verwendung von Energiemodellen interessieren hauptsächlich die folgenden vier Kategorien von Fragestellungen:

- Welche Arten von Energieträgern sollen in welchen Mengen bereitgestellt (Energie-Mix)?
- Welche Technologien sollen insbesondere im Umwandlungs- und Endbenutzersektor in Zukunft eingesetzt werden (Technologie-Mix) und mit welchen Technologien lassen sich gewünschte Einsparungen erreichen?
- Welche Schadstoffmengen werden zukünftig emittiert (Emissionsinventar) und welche Reduktionen lassen sich erreichen? Hier steht insbesondere CO<sub>2</sub> im Zentrum der Betrachtung.
- Welche volkswirtschaftlichen Kosten werden in Zukunft bei der Energiebereitstellung auftreten und wie werden sich Energiesparmaßnahmen und Emissionsreduktionen kostenmäßig auswirken?

*Kopplung von Wirtschaftsentwicklung, Energienachfrage und Energieversorgung*

Die Entwicklung der Energiemärkte in der Energiewirtschaft ergibt sich aus dem komplexen Zusammenspiel von Energienachfrage und Energieangebot der Wirtschaftsakteure. Deshalb wird einem Energiemodell oft ein makroökonomisches Modell vorgeschaltet, das die Wirtschaftsentwicklung als treibende Kraft für die Energienachfrage prognostiziert. Zwischen das ökonomische Modell und das technologische Versorgungsmodell muß ein Nachfragegenerator geschaltet werden. Dieser bestimmt aus den wirtschaftlichen Parametern die einzelnen Energieverbräuche - auch Nachfragevektor genannt -, die als Input für das Energiemodell dienen. Dieser Nachfragevektor ist die „treibende Kraft“ für das Versorgungsmodell. Weitere wesentliche Inputs sind Technologiedaten, Kostendaten und Emissionskoeffizienten.

Entsprechend Tabelle 101 sind zwei Vorgehensweisen möglich:

- *Fall 1:* Die drei Modelle für Ökonomie, Energienachfrage und Energieversorgung sind automatisch gekoppelt.
- *Fall 2:* Wirtschafts- und Nachfrageentwicklung werden modellexogen geschätzt; letztere dient dann als Input für das Versorgungsmodell (z.B. IKARUS-LP-Modell).

Tabelle 101

**Vorgehensweisen bei der Rechnung mit dem IKARUS-Modell**

	Wirtschaftsentwicklung	Energienachfrage	Energieversorgung
1	Wirtschaftsmodell $\Rightarrow$ (Input/Output)	Nachfragegenerator $\Rightarrow$	Versorgungsmodell (Optimierung)
2	Schätzung $\Rightarrow$ (modellexogen)	Schätzung $\Rightarrow$ (modellexogen)	Versorgungsmodell (Optimierung)

Im ersten Fall, in dem die drei Modelle automatisch gekoppelt sind, ist insbesondere dann, wenn die Optimierungsergebnisse wieder in das Wirtschaftsmodell eingespeist werden (Rückkopplung), iterativ eine Konsistenz zu erreichen.

Im zweiten Fall müssen Wirtschafts- und Nachfrageentwicklung sehr sorgfältig „von Hand“ (ohne Modell) geschätzt werden, da sonst die Gefahr volkswirtschaftlicher Inkonsistenz besteht. Die hier zugrunde liegenden Nachfragen sind im wesentlichen nach dem Vorgehen entsprechend Fall 2 ermittelt worden.

*Vorteile durch den Modelleinsatz*

Die folgenden Ausführungen beziehen sich sowohl auf Modelle generell als auch auf optimierende Modelle wie das IKARUS-LP-Modell. Die Vorteile sind:

- Leichte Bearbeitung komplexer Vernetzungen:

Computergestützte Modelle haben eine sehr hohe Informationsverarbeitungskapazität, d. h. große Datenmengen und komplexe Vernetzungen können leicht verarbeitet werden.

- Auswirkung von Einzelmaßnahmen auf das Gesamtsystem:

Durch die simultane Bearbeitung der vernetzten energiewirtschaftlichen Prozesse werden die Wirkungen von bestimmten Einzelmaßnahmen auf das gesamte Energiesystem erfaßt. Werden im Rahmen von Reduktionsstrategien z.B. bestimmte CO<sub>2</sub>-Sparmaßnahmen im Verkehrssektor angesetzt, so läßt sich deren Einfluß unter dem Kriterium der Kostenminimierung auf die anderen Sektoren direkt aufzeigen. Dies ist bei einer isolierten modellexogenen Analyse nicht so leicht und so konsistent möglich.

- Reproduzierbarkeit und Konsistenz:

Die Ergebnisse sind leicht reproduzierbar, im Prinzip nachvollziehbar und innerhalb des Modells konsistent. Die Datenbasis kann laufend aktualisiert werden, um jeweils neue Entwicklungen zu berücksichtigen.

- Szenarien und Sensitivitätsanalysen:

Verschiedene Szenario- und Sensitivitätsanalysen können zu einer bestimmten Fragestellung leicht durch eine systematische Veränderung von Eingabeparametern und Begrenzungen durchgeführt werden. Damit können bestimmte Hypothesen oder energiepolitische Zielsetzungen im Modell, z. B. im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten oder die entstehenden Emissionen, getestet werden.

- Least Cost Planning:

Unter konkurrierenden Technologieoptionen sucht das optimierende Modell diejenigen aus, die für eine Zielerreichung am günstigsten sind. Durch gleichzeitige Einbeziehung der Angebotsseite (Umwandlungssektor) und des Endverbrauchssektors in die Optimierung können konkurrierende angebots- und nachfrageseitige CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen gegeneinander abgewogen werden (Least Cost Planning). Dieser Ansatz, der in neueren Energiekonzepten immer wieder propagiert wird, ist im IKARUS Modellansatz automatisch enthalten.

- Präzisierung quantitativer Zusammenhänge:

Die Modellierung von energiewirtschaftlichen Fragestellungen sowie die modellgestützte Analyse verbessern das Verständnis für die quantitativen Zusammenhänge im Energiesektor, schaffen eine einheitliche Begriffsbasis und tragen somit ganz wesentlich zu einer Präzisierung energiepolitischer Argumente bei.

### *Nachteile, Probleme und Einschränkungen bei der Modellverwendung*

- Hoher Personalressourcen- und Zeitbedarf:

Die Modelle sind groß und komplex, was einen sehr hohen Bedarf an persönlichen Ressourcen für die Entwicklung und besonders für die Erstellung der Datenbasis erfordert. Wegen der umfangreichen Software sind die inhaltlich relevante Programmierung und die Arbeitsweise des Modells für einen Laien wahrscheinlich gar nicht und für einen Fachmann nur nach zeitaufwendiger Einarbeitung durchschaubar.

- Unzulängliche Abbildung:

Ein Modell ist immer eine vereinfachte Abbildung einer viel komplexeren Realität. Dabei können nur mathematisierbare Zusammenhänge erfaßt werden. Bestimmte politische, soziale und psychologische Faktoren, die das Verhalten energieproduzierender und energienachfragender Wirtschaftspartner entscheidend mitbestimmen, sind in solchen Modellen gar nicht oder nur ganz eingeschränkt modellierbar. Solche Unzulänglichkeiten müssen dann in der Modellierungspraxis durch abstrahierende Annahmen und „Bounds“ überbrückt werden. Die Modellergebnisse sind daher als „Wenn-dann-Aussagen“ mit hypothetischem Charakter aufzufassen, d. h. nur wenn die in das Modell gesteckten Annahmen realisiert werden, dann kann das berechnete Ergebnis erwartet werden. Modellergebnisse dürfen deshalb nicht überinterpretiert oder gar mit der Realität verwechselt werden.

- Nutzbarkeit nur durch Experten:

Ein Modell ist immer nur so gut wie die verwendeten Daten sind und so „intelligent“ wie der jeweilige Anwender. Es ist ein Irrtum zu glauben, ein energiewirtschaftlich und modelltheoretisch nicht vorgebildeter Benutzer könne quasi per „Knopfdruck“ gerechnete beliebige Strategien energiewirtschaftlich sinnvoll interpretieren. Die Praxis hat gezeigt, daß dies nicht möglich ist.

- Energiewirtschaftliches Handeln führt nicht immer zu einem globalen Optimum:

Modelle können nur Zahlengerüste für energiepolitische Entscheidungsprozesse liefern. Wird z. B. eine optimale Strategie mit dem Modell errechnet, so heißt das noch lange nicht, daß sich diese in der zukünftigen Energiewirtschaft quasi automatisch durchsetzt. Eine mit einem Optimierungsmodell erzeugte Lösung entwirft unter Be-

rücksichtigung exogener Vorgaben entsprechend dem Zielkriterium die günstigste Struktur des Energiesystems. Eine solche Optimallösung kann im Sinne einer Zielvorgabe als der beste Lösungspfad interpretiert werden. Da in der Realität aber einzelwirtschaftliche Akteure nach individuellen Kriterien handeln, weicht die tatsächliche Energiewirtschaft von der durch das Optimierungsmodell skizzierten Optimallösung ab. Ursache hierfür können unvollkommene Märkte, andere Motivationen, vom Modell abweichende fiskalische Entscheidungsparameter oder Hemmnisse wie z.B. das Investor-Mieter-Dilemma im Gebäudebereich sein. Damit beschreibt ein kostenminimales System die Realität nur näherungsweise. Auf jeden Fall muß eine für optimal errechnete Entwicklung mit Hilfe von modellexogenen Verordnungen, Anreizen usw. angestoßen werden.

- Modelle entwickeln keine eigene Kreativität:

Das Modell kann zwar ein Energiesystem in optimaler Weise konfigurieren. Dabei entwickelt es aber keine eigene Kreativität, sondern es wählt mit Hilfe linearer Gleichungen aus einem Angebot von verschiedenen Optionen entsprechend dem vorgegebenen Zielkriterium (z. B. minimale Kosten) die günstigsten aus. Diese Optionen in Form von qualitativ verschiedenen Technologien oder Einsparmöglichkeiten muß sich der Modellbenutzer vorher ausarbeiten und dann eingeben. Nur was im Datensatz ist, kann das Modell in die Lösung nehmen.

- Fehlende Kopplung mit dem Ökonomiemodell:

Mit dem IKARUS LP-Modell, das bei dem hier gewählten Vorgehen noch mit festen Nachfragewerten arbeitet (d. h. keine endogene Kopplung mit einem Ökonomiemodell), können die Auswirkungen von bestimmten CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen auf das Bruttoinlandsprodukt, die Industrieproduktion, die verfügbaren Arbeitsplätze usw. nicht gemacht werden. Diese Fragestellungen müssen derzeit, falls überhaupt möglich, außerhalb der nur technologisch orientierten Modellwelt beantwortet werden. Eine direkte Kopplung mit einem Ökonomiemodell steht erst zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung.

- Beschränkte Anwendbarkeit für Extremkonstellationen:

Bei Erdmann (1992) wird auf folgendes Problem hingewiesen: „Vorbehalte müssen vor allem für Modellergebnisse angebracht werden, welche Extremkonstellationen

weit außerhalb des Erfahrungsbereichs bisheriger energiewirtschaftlicher Entwicklungen (z. B. extremes Energiesparen, extreme Einschränkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, extremer Zubau von Kernenergie-Kapazität usw.) zum Inhalt haben. Es darf bezweifelt werden, ob die sozio-ökonomischen Verhaltensmuster, welche explizit oder implizit dem Energiemodell zugrunde liegen, auch für derartige Extremsituationen fortgeschrieben werden dürfen“.

## 2.2 Charakteristika des IKARUS-LP-Modells

### 2.2.1 Optimierungsansatz und makroökonomische Einbettung

#### *Der Optimierungsansatz*

Das IKARUS-Modell bildet Energieflüsse, Energietechniken, Emissionen und Kosten des gesamten Energiesystems der Bundesrepublik Deutschland ab. Dabei wird das mathematische Verfahren der linearen Programmierung (LP) eingesetzt, das sich schon seit Jahrzehnten bei vielen wirtschaftlichen Planungsaufgaben, wo es darauf ankommt, ein Optimum zu finden, hervorragend bewährt hat. Die Energieflüsse aller Energieträger (Kohle, Öl, Gas, Kernenergie, Erneuerbare) werden von der Primärenergiebereitstellung bis zur Energiedienstleistung beim Endverbraucher unter Einhaltung vorgegebener Restriktionen, z. B. CO<sub>2</sub>-Einsparungen, vom Modell in kostenminimaler Weise berechnet. Dabei verarbeitet das Modell in einem Rechengang etwa 2 000 Entscheidungsvariable bei 1 700 Restriktionen (Nebenbedingungen). Die auftretenden Kosten und Emissionen werden summiert. Das Modell arbeitet statisch, d. h. es wird nicht über einen mehrperiodischen Zeitraum optimiert, sondern getrennt für drei verschiedene Zeitpunkte, nämlich für die Stützjahre 1989, 2005 und 2020. Eine Änderung der vorgegebenen Stützjahre ist nicht ohne weiteres möglich, da alle Daten darauf abgestimmt sind.

#### *Makroökonomische Einbettung*

Die erforderliche makroökonomische Einbettung wird beim derzeitigen Entwicklungsstand des IKARUS-Modells modellexogen durchgeführt. Sie umfaßt die Bereitstellung von wirtschaftlichen und demographischen Rahmendaten und leitet daraus Nachfragewerte ab. Die Rahmendaten beschreiben ein konsistentes makroökonomisches Szenario. Sie sind z.T. direkt Bestandteil des Optimierungsdatensatzes.



Da die von außen vorgegebenen Nachfragen einzuhaltende Parameter sind, reagiert beispielsweise die Nachfrage nicht auf eine Verteuerung der Kosten innerhalb des Optimierungsmodells. Falls etwa aufgrund von Kostenerhöhungen ein Rückgang der Nachfrage z.B. nach Personenverkehrsleistung zu erwarten ist, muß vielmehr mit dem Modell iteriert, d.h. mit modellexogen ermittelter niedrigerer Nachfragevorgabe erneut gerechnet werden. Eine automatische Koppelung des Optimierungsmodells mit einem Ökonomiemodell ist vorgesehen, steht aber derzeit noch nicht zur Verfügung.

### *Rolle der „Bounds“ bei der Optimierung*

Vom Modell wird die Lösung mit den geringsten Gesamtkosten gesucht. Dabei ist das folgende modellspezifische Verhalten zu berücksichtigen: Erfüllen zwei unterschiedliche Technologien A und B die gleiche Nachfrage, wobei A die billigere Alternative ist, dann wird im Optimierungsprozeß A zu 100 % gewählt. Damit auch B zur Nachfragedeckung genutzt wird, muß A begrenzt werden. Oder dem Modell muß vorgeschrieben werden, daß B mit einer bestimmten Mindestmenge genutzt werden muß. Diese Begrenzung erreicht man im Modell durch Vorgabe von Schranken, auch Bounds genannt. Diese können grundsätzlich in der Form einer unteren Schranke (lower limit) einer oberen Schranke (upper limit) oder als fixer Wert (equality) für alle Variablen formuliert werden. Die Wahl von Bounds oder Schranken kann in unterschiedlicher Weise begründet sein:

- Eine Technologie oder ein Energieträger kann z.B. nur begrenzt verfügbar sein. Als Beispiel sei die Inlandsförderung von Erdöl genannt.
- Aus politisch-ökonomischen Gründen kann es erforderlich sein, eine bestimmte Technik oder einen bestimmten Energieträger einzusetzen. So kann z. B. erzwungen werden, die teure heimische Steinkohle mit einer vorgegebenen Mindestmenge einzusetzen.
- Verbraucherverhalten richtet sich nicht nur nach ökonomischen Kriterien. So ist es z. B. sinnvoll, im Raumwärmemarkt die kostengünstige Beheizung von Wohnungen mit braunkohlebefeuelten Einzelöfen nach oben zu begrenzen, weil die Verbraucher aus Komfortgründen diese Beheizungsart nicht mehr wählen.

### *Szenariotechnik*

Ein Szenario wird bei gegebenem Technikdatensatz dadurch definiert, daß man gezielt Variablenschranken (Bounds) einsetzt, um den mathematischen Lösungsraum entsprechend den durch Verbraucherverhalten, energiepolitischen Vorgaben oder auch physikalisch oder ökonomisch gegebenen Restriktionen zu gestalten. In diesem so begrenzten Lösungsraum wird vom Modell die kostenminimale Lösung gefunden. Durch Veränderung der Schranken werden verschiedene Szenarien erzeugt, mit denen der Lösungsraum ausgetestet wird. Diese Vorgehensweise bezeichnet man als Szenariotechnik.

#### **2.2.2 Modellstruktur**

Das IKARUS-LP-Modell folgt einem modularen Aufbau entsprechend den energiewirtschaftlichen Sektoren. Der Energiefluß wird von der Primärenergieseite bis zur Nutzenergieseite in Kategorien von Energieträgern bzw. Energiedienstleistungen beschrieben.

Die *Primärenergiebereitstellung* umfaßt sowohl die Förderung von Energieträgern im Inland als auch Importe und Exporte. Die Primärenergieträger sind grob unterteilt in nichtregenerierbare und regenerierbare Energieträger. Zu den nichtregenerierbaren Energieträgern gehören neben der Kernenergie alle fossilen Energieträger, wie Stein- und Braunkohle, Erdöl sowie Erdgas. Zu den regenerierbaren Energieträgern zählen Sonnenenergie, Windenergie, Biomasse und Wasserkraft.

Die *Nutzenergie* läßt sich über die Nachfrage nach Energiedienstleistungen darstellen. Letztere umfassen die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser, Prozeßenergie, Güter- und Personentransportleistungen, mechanische Antriebsenergie etc.

Im *Umwandlungsbereich* werden die Primärenergieträger in Kraftwerken, Heizwerken und Veredlungsanlagen in Sekundärenergieträger wie Koks, Benzin, Strom, Wärme, umgewandelt. Über die technischen Einrichtungen des Verteilungsnetzes wird den Nachfragesektoren Endenergie zur Befriedigung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen zur Verfügung gestellt. Das gesamte Energiesystem nutzt eine große Zahl von Energieträgern für die Endenergieversorgung bzw. Nutzenergieerarbeitung. Im Modell

sind insgesamt rund 90 Energieträger abgebildet, die zu 13 Hauptenergieträgergruppen zusammengefaßt sind.

Von der Primärenergiebereitstellung bis zur Erfüllung des Nutzenergiebedarfs fallen Umwandlungs- und Transportverluste an, die ebenfalls erfaßt werden. Verknüpfungen zwischen den Energieflüssen lassen sich durch Technologien über die spezifischen Energieträger- bzw. Mengeneinsätze beschreiben. Indem man die Technologien durch ihre spezifischen Kosten und Emissionen datenmäßig charakterisiert, werden mit den Energieströmen gleichzeitig Kosten- und Emissionsströme abgebildet

Das Emissionskonzept orientiert sich dabei an den klimarelevanten Emissionen, die während des gesamten Energieflusses von der Primärenergieseite bis zur Endenergie- bzw. Nutzenergieseite in den jeweiligen Stufen anfallen. Zum Teil sind auch die vorgelagerten Emissionen der Energieträgerimporte erfaßt. Prinzipiell können vom Modell folgende Emissionen bilanziert bzw. berechnet werden: CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, NMKWS (Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe). Allerdings ist derzeit nur die Datenbasis für die CO<sub>2</sub>-Emissionskoeffizienten zufriedenstellend.

Zur Umsetzung des Energieflusses der Bundesrepublik Deutschland ist das Energiesystem im IKARUS-Modell in zehn Hauptsektoren gegliedert:

- Primäre Energieträger

Hier ist die inländische Förderung von Primärenergieträgern sowie der Import und der Export von Energieträgern abgebildet.

- Umwandlungssektoren

- \* Stromsektor: Der Sektor umfaßt alle Technologien, die der Erzeugung, dem Transport und der Verteilung von Elektrizität auf drei Spannungsebenen dienen.

- \* Wärmesektor: Dieser Sektor beschreibt alle Technologien, die der Erzeugung, dem Transport und der Verteilung von leitungsgebundener Wärme und auch Strom im Falle der Kraft-Wärme-Kopplung dienen.

- \* Raffineriesektor: Dieser Sektor beinhaltet die Umwandlung von Rohöl in alle benötigten Mineralölprodukte.

- \* Gassektor: Hier sind der Transport und die Verteilung von Erdgas, Stadtgas und Wasserstoff auf den Netzebenen Ferntransport, Nahtransport und Verteilung abgebildet.
  - \* Veredlungssektor: Der Veredlungssektor umfaßt die Umwandlung von Primärenergieträgern in gasförmige, flüssige und feste Produkte als Endenergieträger mit Ausnahme des Raffineriesektors.
- Endverbrauchssektoren
- \* Industrie: Der Sektor Industrie ist nach zehn Wirtschaftssektoren gegliedert, in denen Produktionsketten auf hohem Aggregationsniveau abgebildet sind. Sparmaßnahmen durch effektivere Produktionstechniken sind mit erfaßt.
  - \* Verkehr: In diesem Sektor ist der Personen- und Gütertransport gegliedert nach Transportmitteln erfaßt. Sparfahrzeuge sind in allen Bereichen als Option vorhanden
  - \* Haushalte: Hier sind die Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser, Licht und Kochenergie sowie elektrische Geräte abgebildet. In diesem Sektor sind Maßnahmen zur Energieeinsparung z.B. durch bessere Wärmedämmung und effizientere Heizkessel und Geräte als Option vorhanden.
  - \* Kleinverbraucher: Dieser Sektor umfaßt Technologien und Maßnahmen zur Versorgung der Kleinverbraucher nach Branchen. Entsprechende Sparoptionen sind vorgesehen.

Um die komplexen Zusammenhänge der Energieversorgung besser abbilden zu können, sind alle Hauptsektoren in weitere Subsektoren zerlegt. Die einzelnen Sektoren werden in einer Oberstruktur verknüpft. Über diese wird die mengenmäßige Logistik zwischen den Sektoren „geregelt“. Wird z.B. im Verkehrssektor ein Methanolauto eingeführt, so wird dem Verkehrssektor das zum Betrieb notwendige Methanol in der erforderlichen Menge aus der Oberstruktur zugeführt. Dieser wiederum wird das Methanol aus dem Importsektor oder aus dem Umwandlungssektor, z.B. über die Reformierung von Erdgas, bereitgestellt.

### 2.2.3 Kostenberechnung im IKARUS-Modell

#### *Das grundsätzliche Kostenkonzept*

Es ist klar, daß im kostenminimierenden IKARUS-Ansatz, Kostendefinition und Kostenberechnung eine zentrale Rolle spielen. Im Vergleich zu gängigen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen gibt es hier einige methodische Besonderheiten.

Das IKARUS-Modell führt keine betriebswirtschaftliche Investitionsplanung durch, bei der üblicherweise erwartete Einnahmen mit erwarteten Ausgaben verglichen werden. Angaben zu den Einnahmen werden bei IKARUS nicht benötigt, da keine Wirtschaftlichkeitskontrolle von Einzelvorhaben, wie der Bau eines Kraftwerkes, durchgeführt wird.

Die IKARUS-Kostenminimierung zielt auf einen Kostenvergleich alternativer Lösungsmöglichkeiten bei gleicher Energiedienstleistung. Da der Optimierungsprozeß die kostengünstigste Option aussucht, kommt es nicht so sehr auf die Absolutwerte an, sondern auf Kostenrelationen bzw. Kostendifferenzen.

Entscheidend ist, daß immer die Gesamtkosten über alle Systemelemente, das sind Energieträger und Energietechnologien, minimiert werden. Im Modell konkurrieren Techniken auf der Energieangebotseite, z. B. Kraftwerksausbau, mit Endbenutzertechnologien, z. B. Stromspartechniken. Dies entspricht exakt dem Vorgehen im Least-Cost Planning, d. h. einer integrierten Planung von Energieangebot und Energienutzung. Im Modell wird dies aber nicht nur auf den Stromsektor angewendet, sondern auf alle Energieträger sowie alle erzeugenden und verbrauchenden Sektoren der Energiewirtschaft. Tatsächlich konkurrieren im Modell sämtliche Optionen miteinander.

Um eine Optimierung durchführen zu können, müssen die Kosten der einzelnen Systemelemente vergleichbar gemacht werden. Hier wird auf eine vereinfachende Methode zurückgegriffen, deren wichtigste Kennzeichen sind:

- Die Annuitäten werden für alle Technologien mit einer einheitlichen Langfrist-Diskontrate (Zinssatz) gerechnet und auf die jeweilige technische Nutzungsdauer (Inbetriebnahme bis Stilllegung) bezogen.

- Kosten, die nicht ursächlich energie- oder technikgebunden sind, werden nicht mit einbezogen. Dazu gehören Sondertarife, Subventionen, Zuschüsse und Steuern wie z. B. die Mineralölsteuer. Steuern, die eine proportionale Belastung aller Energietechniken verursachen, sind für die Optimierung nicht relevant, weil durch sie die Kostenrelationen nicht geändert werden.

### *Mathematische Formulierung des Optimierungsproblems*

Bevor die Kosten im Detail betrachtet werden, ist es notwendig, einen kurzen Blick auf den mathematischen Ansatz zu werfen.

Ein Energiesystem besteht aus Technologien, Energieströmen und Stoffströmen. Die Technologien sind über ein- und austretende Energieströme zu einem komplexen System vernetzt. Der Energiefluß wird im IKARUS-Modell an jeder möglichen Schnittstelle des Systems, d. h. vor und hinter den Techniken, wie folgt bilanziert:

$$\text{Ausstoß von Energieträger } i \text{ minus Verbrauch vom Energieträger } i \geq 0.$$

Daraus ergibt sich ein Ungleichungssystem, das wie nachstehend in allgemeiner Vektorform geschrieben werden kann:

$$A x \geq b$$

Die einzelnen Koeffizienten der Koeffizientenmatrix  $A$  werden durch Technologieeigenschaften bestimmt, die Input und Output an Energie oder Schadstoffen beeinflussen.

$x =$  Vektor der Variablen  $x_i$ , auch Aktivität genannt.

Das sind die zu berechnenden Energieflüsse.

$b =$  Vektor der Begrenzungen (Bounds) und Nachfragen (Energiedienstleistung)  $b_j$

$i =$  Variablenindex, kennzeichnet die Art der Energie.

(2 000 Variable in einem Rechenfall)

$j =$  Index der Restriktionen oder Nebenbedingungen (Ungleichungen).

(1 700 Ungleichungen in einem Rechenfall).

Das lineare System ist unterbestimmt und hat deshalb unendlich viele Lösungen. Aus dem Lösungsraum soll nun diejenige Lösung herausgesucht werden, welche zu den nied-

rigsten Gesamtkosten führt. Dies wird mit Hilfe der sogenannten Zielfunktion bewerkstelligt, die angibt, nach welchen Kriterien optimiert wird. Im IKARUS-Modell lautet die Zielfunktion:

*Minimierung der Gesamtkosten Z*

Zur Formulierung der Gesamtkosten geht man von spezifischen Einzelkosten  $C_i$  (DM/GJ) aus, die mit der jeweiligen produzierten Energiemenge  $X_i$  (GJ) multipliziert und über das gesamte Energiesystem aufsummiert werden. Die Zielfunktion lautet also:

$$\text{Min. } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_iX_i + \dots + C_mX_m$$

Das mathematische Verfahren der linearen Programmierung löst nun das Ungleichungssystem so, daß eindeutig das Minimum der Gesamtkosten gefunden wird.

*Fixe und variable Kostenkomponenten*

Die spezifischen Kosten beinhalten zwei unterschiedliche Haupttypen:

- Primärenergiekosten:                      Importpreise (DM/GJ)  
   Gewinnungskosten (DM/GJ)
- Technologiekosten:                      fixe Kosten [DM/(GJ/a)]  
   variable Kosten (DM/GJ).

Die fixen Kosten sind kapazitätsabhängig, d. h. sie sind der Nennleistung der Technologie proportional. Sie fallen immer an, gleichgültig, ob die Anlage in oder außer Betrieb ist. Dagegen sind die variablen Kosten aktivitätsabhängig, d. h. sie sind proportional der Energie, die eine Technologie erzeugt.

Das Verhältnis von erzeugter Energie zu Nennleistung wird als Auslastung  $U_i$  bezeichnet. Für eine bestimmte Technologie sind dann die gesamten spezifischen Kosten, die in der obigen Zielfunktion stehen, die Summe aus variablen plus fixen Kosten, wobei letztere noch durch die Auslastung dividiert werden müssen:

$$C_i = C_{i,var} + C_{i,fix}/U_i \quad (\text{DM/GJ}).$$

Die variablen Kosten einer Technologie  $C_{i,var}$  bestehen aus folgenden Komponenten:

- Betriebs- und Hilfsstoffkosten
- Instandhaltungskosten und
- Reparaturkosten.

Brennstoffkosten werden nicht zu den variablen Kosten gerechnet, weil die Primärenergiekosten schon in das System eingehen. Würde man bei den Technologien (z. B. Kraftwerke usw.) noch jeweils die Brennstoffkosten mit dazu nehmen, so käme es zu Mehrfachzählungen.

Die fixen Gesamtkosten  $C_{i,fix}$  einer Technologie mit dem Index  $i$  umfassen drei Anteile:

- fixe Betriebskosten  $B_{i,fix}$
- Kapitalkosten  $K_i$
- Entsorgungskosten  $E_i$

Die fixen Betriebskosten  $B_{i,fix}$  unterteilen sich noch weiter in:

- Personalkosten,
- Wartungskosten und
- Versicherungskosten.

Die fixen Kosten tragen am stärksten zu den gesamten spezifischen Kosten  $C_i$  bei. Besonders hoch werden die Kosten, wenn die Auslastung, wie beim Pkw, sehr niedrig ist. Die folgende Liste zeigt beispielhaft die Auslastungen  $U_i$  für drei ausgewählte Technologien:

- Benzin Pkw 0,03
- Hausheizung 0,24
- Steinkohlekraftwerk 0,8.

#### *Kapital- und Entsorgungskosten*

Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden die gesamten Investitionen einschließlich der Bauzeitinsen, in eine Annuität für den Zeitraum der technischen Lebensdauer umgewandelt. Für den Annuitätsfaktor gilt allgemein:

$$Ann = (q-1)/(1-q^n)$$

dabei ist  $q = 1 + d$

$d$  = Diskontsatz (0,05, d.h. 5 % wie im UBA-Vorhaben „Politiksznarien“ angenommen)

$n$  = Lebensdauer der Anlage.

Die gesamten Investition für eine bestimmte Technologie  $I_i$  werden durch Multiplikation mit der jeweiligen Annuität  $Ann_i$  in eine Jahresrate gleichbleibender Höhe  $K_i$  umgewandelt:

$$K_i = I_i \cdot Ann_i$$



Für die gewählte Diskontrate beträgt die Annuität z. B. bei 10 Jahren Lebensdauer 0,13 und bei 20 Jahren 0,08.

Die Bauzeitzinsen sind hier den gesamten Investitionen  $I_i$  zugeschlagen. Da die zeitliche Abfolge und die Größe der Raten während der Bauzeit nicht bekannt ist, wird angenommen, daß die Investition  $I_o$  zur Mitte der Bauzeit fällig wird. Diese wird dann von dort auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme aufgezinnt. Es gilt:

$$I_i = I_{oi} (1+q)^{t_i/2}$$

$I_o$  = Anlagekosten (Herstellungskosten),  $t_i$  = Bauzeit.

Entsorgungskosten, die am Ende der Betriebszeit anfallen, werden mit der Lebensdauer  $n$  auf den Inbetriebnahmezeitpunkt abgezinst und dann mit dem Annuitätsfaktor als jährliche Kosten berechnet.

Die gesamten spezifischen Kosten für eine bestimmte Technologie  $i$  sind die Summe aus folgenden vier Komponenten:

- variable Betriebskosten (ohne Brennstoffkosten)
- + fixe Betriebskosten (betriebsgebunden)
- + Kapitalkosten (annualisiert incl. Bauzeitzinsen)
- + Entsorgungskosten (abdiskontiert und annualisiert).

#### *Kostenparameter im IKARUS-Datensatz*

Jede Technologie  $i$  ist im Modell-Datensatz durch folgende Einzeldaten charakterisiert:

Bauzeit	$t_i$
Auslastung	$U_i$
Lebensdauer	$n_i$
Entsorgungskosten	$E_i$ (Daten nicht immer verfügbar)
Fixe Betriebskosten	$B_{i,fix}$
Anlagekosten	$I_{oi}$
Variable Kosten	$C_{i,var}$

Bei den Anlagekosten ist anzumerken, daß im Industriesektor und z.T. im Kleinverbrauchssektor die Anlagekosten der Referenz- oder Standardtechnologien zu Null gesetzt sind. Nur die Spartechniken sind mit den Mehrkosten (Differenzkosten) versehen.

Bei den anderen Technologien sind immer Vollkosten angegeben. Für jeden Primärenergieträger sind im Modell-Datensatz spezifische Kosten angegeben. Dies sind Importpreise und/oder Gewinnungskosten, falls die Primärenergie im Inland produziert wurde.

#### *Durchschnittskosten und Grenzkosten der CO<sub>2</sub>-Reduktion*

Die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten des Reduktionsszenarios sind Mehrkosten, die auf das Referenzszenario bezogen sind. Das Reduktionsszenario unterscheidet sich vom Referenzszenario durch eine CO<sub>2</sub>-Restriktion. Sie lautet:

$$a_{1,j}X_1 + a_{2,j}X_2 + \dots + a_{m,j}X_m \leq b_j$$

$a_{i,j}$	=	CO <sub>2</sub> -Emissionskoeffizienten am Entstehungsort (kg/GJ)
$X_i$	=	Energienmengen, denen die CO <sub>2</sub> -Emission zugeordnet wird (GJ)
$b_j$	=	Obergrenze für die gesamte CO <sub>2</sub> -Emission (kg)
$i$	=	Index zur Kennzeichnung des Energieträgers
$j$	=	Index zur Kennzeichnung der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung

Die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten  $R$  sind das Verhältnis der gesamten Mehrkosten bezogen auf die Emissionseinsparung.

$$R = (Z_{Red} - Z_{Ref}) / (\sum a_{ij}X_i - b_{j,Red})$$

$Z$	=	Gesamtkosten (Zielfunktionswert)
$Red$	=	Index für Reduktionsszenario
$Ref$	=	Index für Referenzszenario.

Für die Reduktionsszenarien mit der (Kurzbezeichnung CG\_AL05) ergeben sich z.B. in Bezug auf das Referenzszenario (REF\_AL05) durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten von 67,5 DM/t oder von 108 DM/t im Jahre 2005. Wegen des Bezugs auf das Referenzszenario sind die CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten relative Maßzahlen. Sie eignen sich zwar gut zur wirtschaftlichen Beurteilung verschiedener Reduktionsszenarien, doch dürfen sie nicht aus dem Zusammenhang herausgenommen und unabhängig von den im Modell festgelegten Bedingungen für energiewirtschaftliche Argumente verwendet werden.

Unter konkurrierenden Technologieoptionen sucht das optimierende Modell diejenigen aus, die für eine Zielerreichung am günstigsten sind. Dabei wird zunächst die kostengünstigste Option ausgeschöpft und dann sukzessive die nächst teurere, bis die CO<sub>2</sub>-Reduktionsvorgabe erfüllt ist. Die Kosten, die bei der Reduktion der letzten Einheit CO<sub>2</sub>

auftreten, werden Grenzkosten genannt. Diese Grenzkosten heißen auch Schattenpreise. Aufgrund der besonderen mathematischen Eigenschaften der linearen Programmierung werden die Schattenpreise im Modell in der sogenannten dualen Lösung berechnet. Sie sind natürlich höher als die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten. Unter den Bedingungen der hier zugrunde liegenden Szenarien würde die Reduktion einer weiteren Tonne CO<sub>2</sub> im Falle von CG\_AL05 rund 198 DM und im Fall von CS\_AL05 etwa 123 DM kosten (vgl. auch Kapitel IV.5.3).<sup>46</sup>

#### *Anmerkungen zur Kosteninterpretation*

Bei der Interpretation der Kostenangaben, die mit dem IKARUS-LP-Modell gerechnet wurden, sind folgende Regeln zu beachten:

- Bezugsjahr für die Kostenangaben ist 1989. Um die Kosten auf 1995 umzurechnen sind sie mit dem Index der Erzeugerpreise des Investitionsgüter produzierenden Gewerbes von 1,12 zu multiplizieren (Statistisches Jahrbuch 1996)
- Alle Kostenangaben sind *immer* Mehrkosten eines Reduktionsszenarios gegenüber dem Referenzszenario. Da Reduktionsszenarien vereinbarungsgemäß nur für die alten Bundesländer gerechnet wurden, sind auch nur dafür Kosten verfügbar.
- Die absoluten Kosten sind *immer* Jahreskosten, die mit der jeweiligen technischen Lebensdauer und einem Diskontsatz von 5 % ermittelt wurden. Für einem bestimmten Sektor enthalten die aggregierten Gesamtkosten einen Mix bestehend aus Komponenten von verschiedenen Technologien mit unterschiedlichen Lebensdauern. Im Haushaltsektor z. B. bis 20 Jahre für die Kessel und 40 Jahre für die Wärmedämmung. Aus diesem Grund kann man aus den sektoralen Jahreskosten nicht so ohne weiteres auf die zugrundeliegenden Investitionen schließen.

<sup>46</sup> Dadurch, daß im Szenario CS-AL05 die teuren Minderungsmaßnahmen des Verkehrssektors in Lösung „gezwungen“ werden, können andere - billigere - Optionen z.B. im Gebäudebereich vom Modell nicht ausgeschöpft werden. Wird die Begrenzung, die auf den Verkehr gelegt wurde, gelockert, dann nimmt das Modell diese billigeren Möglichkeiten in die Lösung und die Reduktionskosten sinken. Nach der Theorie der linearen Programmierung sind die Schattenpreise die Änderung des Zielfunktionswertes (das sind hier die Gesamtkosten), die sich ergibt, wenn diese Verkehrsrestriktion um eine Einheit (d.h. eine Tonne CO<sub>2</sub>) gelockert wird. Da das Modell im Szenario CS-AL05 bei einer Lockerung der Restriktion auf die billigere Lösung geht, ist der Schattenpreis niedriger als im Szenario CG-AL05.

- Die Laufzeit der Jahreskosten wird von der technischen Lebensdauer bestimmt, die im allgemeinen größer ist als der Zeitabschnitt von 1990 bis 2005. Ein Beispiel möge dies verdeutlichen:

Entsprechend Kapitel 5.2 betragen im Haushaltssektor die Zusatzkosten der im Renovierungszyklus durchgeführten Wärmedämmung im Jahre 2005 für das Reduktionsszenario CG\_AL05 rund 3,0 Mrd. DM/a. Da die Lebensdauer der Wärmedämmung mit 40 Jahren unterstellt wurde, fallen die Jahreskosten über diesen Zeitraum an. Bei einer Diskontrate von 5 % beträgt die Annuität 0,058. Damit würden Jahreskosten von 3,0 Mrd. DM einer Investition von rund 52 Mrd. DM entsprechen.

- Die durchschnittlichen spezifischen Reduktionsmehrkosten sind in DM/t angegeben (DM/a bezogen auf t/a).

## 2.2.4 Analysemöglichkeiten mit dem IKARUS-Modell

### *Abbildung von Techniken und Maßnahmen (Auflösungsvermögen des Modells)*

Dort, wo im Energiesystem viele Einzeltechniken vorkommen, die aus Platzgründen im Modell nicht individuell abgebildet werden können, werden durch Aggregation repräsentative Modelltechniken gebildet. Durch eine solche Zusammenfassung gehen naturgemäß Details sowohl bei den Input-Daten als auch bei den Ergebnissen verloren. So wird z. B. der Gebäudebestand im LP-Modell nur durch 4 Typen wiedergegeben, nämlich alte und neue Einfamilienhäuser sowie alte und neue Mehrfamilienhäuser. In der gleichen aggregierten Weise sind Einsparmaßnahmen in den verschiedenen Sektoren modelliert. Insbesondere beim Endverbrauchssektor sind nicht einzelne technische Sparmaßnahmen abgebildet, sondern Bündel von gleichzeitig mehreren Maßnahmen, die dann für die schon aggregierten Modelltechniken angewendet werden. Die Konsequenz dieser notwendigen Vereinfachung ist, daß bestimmte Einzelmaßnahmen im Hinblick auf ihre Wirkung im IKARUS-LP-Modell u. U. nicht im Detail zu analysieren sind. Durch diese Art der Abbildung wird das Auflösungsvermögen des Modells notwendigerweise eingeschränkt.

### *Analysemöglichkeiten*

Das IKARUS-Modell besitzt eine Reihe modelltechnischer Möglichkeiten, mit denen Fragestellungen unterschiedlicher Ausprägung zahlenmäßig analysiert werden können:

- Veränderung von Begrenzungen (Bounds).
- Bereitstellung unterschiedlicher Technologieoptionen.
- Veränderung bestimmter Daten.
- Einführung von CO<sub>2</sub>-Restriktionen.

#### *Veränderung von Begrenzungen (Bounds)*

Bei der Nutzung dieser Analysemöglichkeit werden sowohl Obergrenzen, die Techniken oder Energieträger auf einen Höchstbeitrag beschränken, als auch Untergrenzen, die ein Element in die Lösung zwingen, eingeführt. Werden solche Begrenzungen stufenweise in einem Sektor verändert, so lassen sich gezielt Sensitivitätsanalysen zu aktuellen energiepolitischen Fragestellungen durchführen, z.B. zur Mindestkohleverstromung, zur Kernenergienutzung, zur Nutzung regenerativer Energiequellen usw. Durch solche Bounds können im Modell gezielt Substitutionsprozesse herbeigeführt werden, d.h. bestimmte Energieträger oder Techniken können damit früher oder später aus dem Markt oder in den Markt gezwungen werden. Die Folgen auf den Technologie- und Energiemix, die Kosten und vor allen Dingen auf die CO<sub>2</sub>-Emission schätzt das Modell dann ab.

#### *Bereitstellung mehrerer Technologieoptionen*

Im Modelldatensatz werden für einen bestimmten Zweck im allgemeinen mehrere Technologieoptionen unterschiedlicher Qualität hinsichtlich Effizienz, Kosten und Emission bereit gestellt. Damit wird dem Modell ein Freiheitsgrad bei der Auswahl eingeräumt. Ist z.B. eine stärkere CO<sub>2</sub>-Reduktion gefordert, so kann das Modell effizientere Technologien in Lösung bringen. Durch Ausnutzung des Platzhalterkonzeptes können zusätzlich Technologien zur Analyse bestimmter Fragestellungen ausgetauscht werden.

#### *Veränderung bestimmter Daten*

Veränderungen technischer Standards lassen sich durch entsprechende Veränderung der Technologiedaten modellieren. Die Einführung neuer Technologien ins Modell läßt sich insbesondere durch die Ausnutzung des Platzhalterkonzeptes leicht realisieren.

Werden z.B. Kosten für Primärenergieträger systematisch verändert, so kann dies zu anderen Lösungen im Modell führen. Spartechniken werden damit attraktiver und solche Energieträger, die weniger finanzielle belastet sind. Solche modellhaften Kostenänderungen können als Grundlage dienen für fiskalische Regelungen.

### *Einführung von CO<sub>2</sub>-Restriktionen*

Bei Vorgabe einer bestimmten CO<sub>2</sub>-Reduktionsquote optimiert das Modell die gesamte Energieversorgung nach minimalen Kosten unter Einhaltung der vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Emission. Auf diese Weise kann der Einfluß der gewünschten CO<sub>2</sub>-Minderung auf den Energie- und Technologiemarkt sowie die Kosten untersucht werden. Dies wird in diesem Bericht für ein 25 %-Reduktionsszenario für Deutschland im Jahre 2005 dargestellt.

## **2.3 Unterschiede zwischen IKARUS und PROGNOSE beim methodischen und analytischen Vorgehen**

### *Hier Prognose, dort Optimierung*

Bei dem Ansatz der Prognos-AG handelt es sich um eine Prognose, d.h. um eine Vorhersage der erwarteten zukünftigen energiewirtschaftlichen Entwicklungen. Man geht davon aus, daß sich die prognostizierten Referenz-Entwicklungen mit großer Wahrscheinlichkeit einstellen werden, wenn sich bei den angenommenen Rahmendaten keine grundsätzlichen Verschiebungen ergeben. Einen Wertewandel durch Meldungen über die Auswirkungen einer Klimakatastrophe sowie eine breite ökologische Neubestimmung werden von Prognos langfristig als nicht prognostizierbar hingestellt und deshalb als unsichere, spekulative Elemente nicht in die Referenzprojektion mit einbezogen (Prognos1995).

Beim IKARUS-LP-Ansatz werden die Energiedienstleistungen unter Zuhilfenahme eines makroökonomischen Input-Output-Modells (MIS) exogen prognostiziert. Zur Erfüllung dieser Nachfrage bleibt dem LP-Modell jedoch ein gewisser Freiraum um die Versorgung so zu optimieren, daß die gewünschte CO<sub>2</sub>-Reduktionen möglichst kostengünstig erreicht wird.

Ziel des IKARUS-Ansatzes im Rahmen des hier bearbeiteten UBA-Vorhabens ist es, auf der Basis der berechneten Optimierungsergebnisse energiepolitische Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der künftigen Klimaschutzpolitik in der Bundesrepublik Deutschland herzuleiten. Diesen Anspruch erhebt das nur analysierende Prognos-Gutachten nicht, doch macht es mit seinen Ergebnissen auf gewisse Zielverfehlungen aufmerksam.

### *Vergleich des analytischen Vorgehens*

Erhebliche Unterschiede bestehen bei den methodischen Werkzeugen. Während IKARUS ein umfangreiches computerisiertes Energiemodell auf LP-Basis einsetzt, verwendet Prognos eine Kombination von detaillierten Teilmodellen für einzelne Bereiche/Sektoren, z. B. das Kraftwerksparkmodell des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität Köln (EWI). Ein konsistentes, den gesamten deutschen Energiesektor abbildendes Modell wird offensichtlich nicht verwendet. Mit IKARUS kann der Raum möglicher Entwicklungen und Unsicherheiten mittels verschiedener Szenarien und Sensitivitätsanalysen ausgeleuchtet werden. Prognos verfolgt konsequent das Konzept der Referenzentwicklung, d.h. es werden keine unterschiedlichen Szenarien beschrieben, sondern es wird nur ein einziger Pfad prognostiziert.

Tabelle 102

#### **Zusammenfassung der Unterschiede zwischen IKARUS und Prognos**

Kriterium	IKARUS	Prognos
Ansatz	Prognose der Nachfrage, Optimierung der Versorgung	Alles wird prognostiziert (keine Optimierung)
Ziel	Handlungsempfehlungen zum Klimaschutz herzuleiten (Strategien)	Aufzeigen einer für wahrscheinlich gehaltenen Entwicklung (keine Handlungsempfehlungen)
Methodisches Vorgehen	Einsatz eines computerisierten LP-Modells für die Energieversorgung. Abbildung des gesamten vernetzten Energiesektors in einem Modell.	Teilmodelle, aber kein Energiemodell, das den gesamten Energiesektor abbildet.
Analytisches Vorgehen	Szenarien und Sensitivitätsanalysen für mögliche Handlungsspielräume	Prognose einer Referenzentwicklung

### 3 Charakterisierung der Daten

#### 3.1 Rahmendaten und ihre Rolle für das Modell und die Ergebnisse

*Prognostizierte Rahmendaten sind mit Unsicherheiten behaftet*

Rahmendaten oder Rahmenbedingung sind das Fundament, auf dem die Analyse beruht. Sie beziehen sich auf die wesentlichen makroökonomischen Parameter und auf diejenigen Größen, welche die Energienachfrage bestimmen. Sie werden exogen (außerhalb des Modells) als Erwartungswerte von Experten prognostiziert. Solche Rahmendaten für die Zukunft sind natürlich mit Unsicherheiten behaftet und können bei verschiedenen Studien in ihrem Zahlenwert z.T. ganz erheblich variieren, wie schon der Vergleich der globalen Rahmendaten für IKARUS und Prognos erkennen läßt (vgl. Tabelle 103).

Tabelle 103

**Globale Rahmendaten für das Jahr 2005 nach IKARUS und Prognos**  
(Differenzen über 15 % fett gedruckt)

	2005 IKARUS	2005 Prognos
<b>Alte Bundesländer</b>		
Bevölkerung (Mill.)	65,0	67,8
Wohnfläche (Mrd.m <sup>2</sup> )	<b>2,59</b>	<b>3,00</b>
Bruttoinlandsprodukt <sup>1)</sup> (10 <sup>12</sup> DM)	<b>4,18</b>	<b>3,42</b>
Personen km (Mrd. Pkm)	900	905
Tonnen km (Mrd. tkm)	392	449
<b>Neue Bundesländer</b>		
Bevölkerung (Mill.)	15,2	14,3
Wohnfläche (Mrd.m <sup>2</sup> )	0,48	0,50
Bruttoinlandsprodukt <sup>1)</sup> (10 <sup>12</sup> DM)	<b>0,54</b>	<b>0,68</b>
Personen km (Mrd. Pkm)	<b>224</b>	<b>188</b>
Tonnen km (Mrd. tkm)	82	81
<b>Deutschland</b>		
Bevölkerung (Mill.)	80,2	82,1
Wohnfläche (Mrd.m <sup>2</sup> )	3,07	3,50
Bruttoinlandsprodukt <sup>1)</sup> (10 <sup>12</sup> DM)	<b>4,86</b>	<b>3,96</b>
Personen km (Mrd. Pkm)	1124	1093
Tonnen km (Mrd. tkm)	474	530
Ölpreis DM/t <sup>2)</sup>	<b>305</b>	<b>228</b>
<sup>1)</sup> Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 1991. <sup>2)</sup> Preisbasis bei IKARUS 1989, bei Prognos 1991. Quellen: DIW, IKARUS, Prognos.		



### *Vergleich von Rahmendaten und resultierenden Ergebnissen*

Da der zukünftige Energiebedarf in den Subsektoren, sei er nun optimiert oder prognostiziert, nicht nur von den Rahmendaten abhängt, sondern von einer Vielzahl anderer anzunehmender oder festzulegender Größen, kann aus dem Vergleich der globalen Rahmendaten in Tabelle 103 nicht direkt auf die jeweiligen Endenergieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Prognos und IKARUS geschlossen werden. Der Weg zur Ermittlung der künftigen Endenergieverbräuche ist in beiden Studien mit Sicherheit nicht identisch. Außerdem sind noch die oben genannten grundsätzlichen Unterschiede bei dem methodischen Vorgehen und der Analyse zu berücksichtigen. Dies kann einen ganz anderen optimalen Energiemix und damit u.U. auch andere CO<sub>2</sub>-Emissionen bei IKARUS zur Folge haben. Bei einem Vergleich von IKARUS und Prognos müssen deshalb die Rahmendaten und die Ergebnisse gleichzeitig verglichen werden.

### *Beispiel Haushaltssektor*

Die Problematik des Vergleichs von Rahmendaten wird am Beispiel des Haushaltssektors deutlich. Nach Tabelle 103 haben die nachfragebestimmenden Größen „Bevölkerung“ und „Wohnfläche“ im Jahre 2005 bei IKARUS deutlich niedrigere Werte als bei Prognos, trotzdem weichen die sektoralen Endenergieverbräuche in diesem Fall nur unwesentlich voneinander ab. IKARUS errechnet für das Referenzszenario 2111 PJ, während Prognos 2126 PJ angibt. Der Unterschied beträgt 0,2 Prozent. Diese Relationen lassen sich jedoch nicht auf die anderen Teilbereiche übertragen, dort sind die Abweichungen z.T. völlig anders. Dies bekräftigt noch einmal die Aussage, daß Rahmendaten und Ergebnisse bei einem Vergleich gleichzeitig berücksichtigt werden müssen.

### *Rahmendaten-Vereinbarung im UBA-Projekt*

Entsprechend den mit dem Auftraggeber getroffenen Absprachen werden für die folgenden Szenariorechnungen die IKARUS-Rahmendaten und die dazugehörigen Nachfragen beibehalten. Beim Vergleich mit anderen Studien sollten dann aber nicht die Rahmendaten isoliert verglichen werden, sondern immer zusammen mit den zugehörigen Ergebnissen.

### 3.2 Charakterisierung des IKARUS-Modelldatensatzes

In der Datenbank sind alle im Rahmen des IKARUS-Vorhabens ermittelten Daten und Informationen abgelegt. Aber nur ein bestimmter Teil davon sind modellrelevante Inputdaten. Diese Inputdaten für das LP-Modell werden im folgenden als Modelldatensatz bezeichnet. Daneben gibt es einen Ergebnisdatsatz, der die Outputs des Modells enthält. Der Modelldatensatz umfaßt alle technischen, wirtschaftlichen und emissionsspezifischen Attribute, die einerseits notwendig sind, um die Systemelemente (Platzhalter) für die Berechnung eindeutig zu charakterisieren. Folgende Systemelemente sind im Modelldatensatz relevant:

- Techniken (Umwandlung, Transport, Endnutzung)
- Sparmaßnahmen (aggregierte Maßnahmenbündel)
- Energieträger (Primärenergieträger)
- Nachfragen (Energiedienstleistungen).

Für diese Systemelemente werden die folgenden in Zahlen ausgedrückte Attribute aus dem Modelldatensatz für die Rechnung benötigt:

- Techniken und Sparmaßnahmen:
  - \* Input- und Outputkoeffizienten (Nutzungsgrad)
  - \* Begrenzungen (Bounds)
  - \* Kostenkomponenten (6 Elemente, vgl. Kapitel IV.2.2.3)
  - \* Emissionskoeffizienten (8 Gase).
- Energieträger (Primärenergieträger):
  - \* Produktionskosten
  - \* Importpreise
  - \* Begrenzungen.
- Nachfragen (Energiedienstleistungen):
  - \* Produktionswerte (Industrie)
  - \* Zahl der Beschäftigten (Kleinverbraucher)
  - \* Quadratmeter (Raumheizung)
  - \* Zahl der Personen (sonstiger Bedarf im Haushalt)
  - \* Personen- und Tonnenkilometer (Verkehr).

Das zugrunde liegende Energiesystem ist nach zehn Hauptsektoren strukturiert, die in Kapitel IV.2.2.2 beschrieben sind. Alle Daten werden nach fünf Raum-Zeit-Kombinationen unterschieden:

- Alte Bundesländer 1989 und neue Bundesländer 1989
- Alte Bundesländer 2005 und neue Bundesländer 2005
- Bundesrepublik Deutschland 2020

Insgesamt dürfte der Modelldatensatz 200 000 bis 300 000 einzelne Zahlenwerte enthalten, wobei für jede einzelne der Raum-Zeit-Kombinationen jeweils rund 24 000 Zahlenwerte (Nicht-Null) in der Matrix für den Optimizer verarbeitet werden.

### 3.3 Unterschiede in den Daten bei IKARUS und Prognos

Aus der unterschiedlichen methodischen und analytischen Vorgehensweise bei IKARUS und Prognos resultieren die erheblichen Unterschiede bei den Daten. Die folgende Tabelle 104 zeigt eine Übersicht der Datenkategorien und ihrer Bedeutung.

Tabelle 104

**Datenkategorien bei IKARUS und Prognos**

Datenkategorien	IKARUS	Prognos
Rahmendaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spielen im LP-Modell und im Modelldatensatz keine direkte Rolle</li> <li>– Gehen als Determinanten in die exogen bestimmte Nachfrage ein</li> </ul>	Gehen als Determinanten in die Prognose ein
Sonstige Inputs	Modelldatensatz, mit dem gerechnet wird	Zeitreihen und Ausgangswerte für das Referenzjahr 1992, die erklärenden Charakter haben
Outputs	Ergebnisdatensätze für verschiedene Szenarien (2005, 2020)	Prognosewerte (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)

Will man die Daten von IKARUS und Prognos miteinander vergleichen, dann treten folgende Probleme auf:

- Das jeweilige Bezugsjahr ist unterschiedlich.

IKARUS: Kostendaten:	1989
IKARUS: sonstige Daten:	1989
Prognos: Kosten-, Preisdaten:	1991
Prognos: sonstige Daten:	1992

Dies erfordert eine Anpassung auf das gleiche Bezugsjahr.

- Die Rahmendaten sind z.T. anders strukturiert oder gehen in den IKARUS-Ansatz nicht oder nur indirekt ein. Als gemeinsame Schnittmenge kommen praktisch nur die globalen Rahmendaten in Frage. Bei den Rahmenbedingungen ist zu beachten, daß Prognos die Studie in das internationale wirtschaftliche Umfeld einbettet. Wesentliche Stichworte hierzu sind Weltenergiemärkte, Transformation im Ostblock und europäischer Binnenmarkt. Dies geschieht bei IKARUS in einem anderen Kontext.
- Die Definitionen und Dimensionen von Energiedienstleistungen sind z.T. unterschiedlich. Für einen Vergleich müßten die Dimensionen umgerechnet werden. Bei den Energieeinheiten ist dies leicht möglich. Aufwendiger kann es z.B. bei der Energienachfrage bzw. den Energiedienstleistungen werden, weil diese bei IKARUS in nichtenergetischen Einheiten ausgedrückt sind. So gibt Prognos den Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbraucher direkt in PJ an. Im Modelldatensatz von IKARUS wird dagegen die Nachfrage im Kleinverbrauchssektor durch die Anzahl der Beschäftigten ausgedrückt, die in diesem Fall als energiebestimmende Größe definiert wird. Die Aufschlüsselung nach Endenergieträgern geht dann nur aus dem optimierten Ergebnisdatensatz hervor. Da die Untersektoren bei IKARUS teilweise anders disaggregiert sind als bei Prognos, können außerdem noch Zuordnungsprobleme auftreten.
- Der Modelldatensatz enthält eine große Menge detaillierter Zahlen für eine Vielzahl von Einzeltechnologien, die als Optionen für die Optimierung dienen und die sich bei Prognos so nicht wieder finden lassen. Hier ist deshalb ein Vergleich nicht möglich.

#### **4 Annahmen und politikrelevante Begrenzungen für die Szenarien**

##### **4.1 Anmerkungen zur grundsätzlichen Bedeutung von Begrenzungen**

###### *Die Wirkung von Bounds im Modell*

Durch die Vernetzung vieler Technologien und Energieträger im IKARUS-LP-Modell ist - mathematisch gesehen - der Lösungsraum sehr groß geworden. Läßt man dem Modell alle Freiheitsgrade, dann wählt es unter dem Zielkriterium „minimale Kosten“ ausschließ-

lich die billigste Möglichkeit zur Befriedigung einer vorgegebenen Nachfrage aus. Zwei Beispiele mögen dies verdeutlichen. Im Verkehrssektor kämen nur Kleinwagen in Lösung, weil sie die geringsten Kosten je Kilometer verursachen, und bei der Stromerzeugung würde nur die billige Importkohle eingesetzt. In der energiewirtschaftlichen Realität sind jedoch noch andere Entscheidungskriterien und Hemmnisse wirksam, die im Modell nicht abgebildet sind. Diese müssen ersatzweise durch Annahmen und Aktivitätsbegrenzungen (auch Bounds genannt) im Modell widerspiegelt werden. Stößt das Modell bei der Erfüllung einer Nachfrage auf solche vorgegebenen Begrenzungen, dann muß es die nächst teurere Option nehmen. Damit wird dem Modell eine Lösung aufgezwungen und der noch verbleibende Optimierungsspielraum verkleinert sich.

### *Optimierung zwischen Grenzen*

Es gibt kein absolutes Optimum, sondern immer nur ein Optimum unter bestimmten Bedingungen und Begrenzungen. Optimierung mit einem LP-Modell ist, wenn sie die Realität abbilden will, immer nur eine eingeschränkte Optimierung zwischen vorgegebenen Begrenzungen.

### *Wozu Bounds eingesetzt werden*

Der methodische Vorteil von Bounds ist, das man mit Ihnen bestimmte Lösungsmöglichkeiten austesten kann. Im einzelnen lassen sich Bounds für folgende Zwecke einsetzen:

- Justierung des Modells auf ein Referenzjahr in der Vergangenheit. Durch Bounds wird erreicht, daß das Modell weitgehend die Ist-Werte reproduziert.
- Bestimmte energiepolitische Maßnahmen lassen sich im Modell durch Bounds erzwingen. Ein Beispiel ist die Verwendung heimischer Steinkohle.
- Ressourcenbeschränkungen lassen sich mit Bounds modellieren. Dazu gehört z.B. die begrenzte heimische Öl- und Gasgewinnung.
- Umstellungszeiträume von einer alten auf eine neue Technologie, die das Modell u.U. schlagartig durchführt, beanspruchen in der Realität oft einen Übergangszeitraum. Dies kann durch Bounds modelliert werden.
- Bounds können benutzt werden, um bestimmte Sensitivitätsanalysen und Szenario-rechnungen durchzuführen. Darauf wurde schon in Kapitel IV.2.2 hingewiesen.

### *Bounds bestimmen die Lösung stärker als die Optimierung*

Wegen der vielen zu setzenden Bounds ist der Optimierungspielraum des Modells erheblich eingengt. Das Ergebnis wird schließlich mehr von den Bounds als vom Optimierungsprozeß selbst bestimmt. Durch die Einführung von Bounds kann im Rahmen des gegebenen Modells nahezu jedes energiepolitische Wunschscenario modelliert werden. Deshalb müssen bei einer Ergebnisanalyse Bounds, die das Modell in eine bestimmte Richtung steuern, in jedem Fall berücksichtigt werden.

### *Ungünstige Bounds sind an hohen Kosten erkennbar*

Das Modell zeigt auf, welche Kosten und Emissionen (z.B. CO<sub>2</sub>) solche Wunschscenarien verursachen. Ihr wirtschaftlicher und ökologischer Nutzen läßt sich dann durch Vergleich mit anderen Szenarien beurteilen. Bounds können im Modell zwar in gewisser Weise willkürlich gesetzt werden, aber durch die Berechnung der Kosten und der Emissionen wird gleichzeitig ein objektiver Beurteilungsmaßstab bereitgestellt. Damit ist dem Modellbenutzer ein Instrument an die Hand gegeben, mit dem er z. B. teure Optionen für die CO<sub>2</sub>-Reduktion ausscheiden kann.

## **4.2 Festlegung von Importpreisen und Energienachfragen im IKARUS-Modell**

Die Importpreise der Energieträger und die Nachfragewerte werden außerhalb des Modells erhoben und dem Modell exogen vorgegeben. Unter dem Begriff „Nachfragen“ ist die Nachfrage nach Energiedienstleistungen zu verstehen, wie z. B. gefahrene Personen- und Tonnenkilometer im Verkehrssektor oder die Nettoproduktionswerte im Industriesektor. Diese Größen werden auch als Energienachfrage-Determinaten bezeichnet. Die Tabellen 105 und 106 enthalten eine Auswahl besonders relevanter Importenergiepreise sowie Nachfragegrößen.

Die in Tabelle 106 aufgelisteten Nachfragen sind als aggregierte Werte angegeben; die im Modell weiter disaggregiert (z.B. für verschiedene Industriebranchen) vorgegeben werden. Alle Werte steigen bis 2005, wobei Industrie und Verkehr besonders hohe Wachstumsraten aufweisen. In den verschiedenen Szenariorechnungen werden die Energienachfragegrößen konstant gehalten.

Tabelle 105

**Preise der wichtigsten Import-Energieträger in DM<sub>89</sub>/GJ**

Energieträger	1989	2005
Import-Steinkohle	3,64	3,65
Rohöl	6,03	7,18
Erdgas A	3,62	4,61
Erdgas B	4,53	5,76
z. Vgl.: deutsche Steinkohle	6,88	7,09

Tabelle 106

**Entwicklung der wichtigsten Nachfragegrößen  
in den alten und neuen Bundesländern bis zum Jahr 2005**

	1989	2005	Anstieg in %
<b>Alte Bundesländer</b>			
Raumwärme (Wohnfläche in Mill. m <sup>2</sup> )			
Einfamilienhaus	1327	1601	21
Mehrfamilienhaus	871	985	13
Summe	2198	2586	18
Verkehr			
Personenverkehr (Mrd. Pkm)	690	850	22
Güterverkehr (Mrd. tkm)	281	415	48
Industrie			
Nettoproduktionswert (Mrd. DM <sub>85</sub> )	592	802	35
Kleinverbraucher			
Beschäftigte (Mill.)	22	24	9
<b>Neue Bundesländer</b>			
Raumwärme (Wohnfläche in Mill. m <sup>2</sup> )			
Einfamilienhaus	157	211	34
Mehrfamilienhaus	262	269	3
Summe	419	480	15
Verkehr			
Personenverkehr (Mrd. Pkm)	141	214	50
Güterverkehr (Mrd. tkm)	75	138	84
Industrie			
Nettoproduktionswert (Mrd. DM <sub>85</sub> )	(100)	135	---
Kleinverbraucher			
Beschäftigte (Mill.)	4,6	6,0	31

### 4.3 Definition der Szenarien

Für den vorliegenden Bericht wird aus Gründen der Übersichtlichkeit die Anzahl der Szenarien auf die folgenden drei Varianten begrenzt:

- Referenzszenario 2005 für alte und neue Bundesländer (REF\_AL05, REF\_NL05)
- Globales Reduktionsszenario 2005 für alte Bundesländer (CG\_AL05)
- Sektorales Reduktionsszenario 2005 für alte Bundesländer (CS\_AL05)

Es wird für die alten und neuen Bundesländer getrennt gerechnet und jeweils mit einer Modell-Kalibrierung für das IKARUS-Basisjahr 1989 verglichen. Das Referenzszenario wird ohne besondere CO<sub>2</sub>-Reduktionsvorgabe gerechnet. Demgegenüber werden die Reduktionsszenarien mit einer CO<sub>2</sub>-Restriktion gerechnet, indem der CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf einen vorgegebenen Wert begrenzt wird. Hierbei wird unterschieden zwischen

- einer Obergrenze auf die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen und
- einer Obergrenze auf CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Sektor.

Die Annahmen und Begrenzungen, die den Lösungsraum für die durchgeführten Rechnungen festlegen, können stichwortartig wie folgt charakterisiert werden:

- Begrenzung der Kohle auf Mindestförderung,
- konstanter Beitrag der Kernenergie,
- stärkere Zunahme der Gasnutzung möglich,
- begrenzte Nutzung regenerativer Energiequellen und dezentraler Techniken,
- Energiesparen in mehreren Stufen möglich,
- moderates reales Ansteigen der Energiepreise,
- Entwicklung der Nachfrage im Rahmen der gängigen Prognosen.

#### *Festlegung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsniveaus für die alten und neuen Bundesländer*

Die CO<sub>2</sub>-Verringerung wird so festgelegt, daß in allen Reduktionsszenarien der Zielwert der Bundesregierung von 25 % (744 Mill. t) für die alten und neuen Bundesländer zusammen im Jahre 2005 erreicht wird. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung.



Tabelle 107

**Festlegung des CO<sub>2</sub>-Reduktionsniveaus für das IKARUS-Modell im Jahre 2005**

	Ausgangswerte des Modells		Zielwerte	Veränderungen	
	1989 <sup>1)</sup>	1990 <sup>2)</sup>	2005	1990 bis 2005	
	Mill. t			%	
Alte Bundesländer	690	709	582	-126	-18
Neue Bundesländer	318	284	162	-121	-43
Deutschland	1008	993	744	-248	-25
<sup>1)</sup> IKARUS-Ausgangswerte.- <sup>2)</sup> Interpolierte Werte; stimmen für die neuen Bundesländern nicht mit den „offiziellen“ Angaben überein, wonach dort im Jahre 1990 die CO <sub>2</sub> -Emissionen 305 Mill. t betragen haben. Aus Gründen der modellinternen Konsistenz wurde diese Differenz in Kauf genommen.					

Für die neuen Bundesländer wird schon im Referenzfall (ohne besondere CO<sub>2</sub>-Restriktion) eine Verringerung des Ausstoßes im Jahre 2005 auf 162 Mill. t erreicht (Prognos: 176 Mill. t). Eine weitere Reduktion soll für Ostdeutschland vereinbarungsgemäß nicht gerechnet werden. Während in den neuen Bundesländern die CO<sub>2</sub>-Emission von 1990 bis 1995 schon drastisch gesunken ist (-44 %), war im gleichen Zeitraum in den alten Bundesländern ein Anstieg von etwa 2 % zu verzeichnen. Dieser Zuwachs muß zusätzlich reduziert werden, wenn das Minderungsziel erreicht werden soll. Entwicklungen, die dazu führten, wurden im Modell über entsprechende Bounds eingestellt.

*Vergleich der Einzelmaßnahmen-Szenarien mit den IKARUS-Szenarien*

- „Mit-Maßnahmen-Szenario“

Dieses Szenario beschreibt eine Referenzentwicklung in Anlehnung an die Prognos-Studie. Maßnahmen der Bundesregierung, die ungefähr bis Mitte 1996 beschlossen waren, werden dabei berücksichtigt.

- IKARUS-Referenzszenario

Hier wird eine volkswirtschaftlich kostenminimale Referenzentwicklung beschrieben. Da das Modell bestimmte Hemmnisse nicht kennt, geht die CO<sub>2</sub>-Minderung im allgemeinen weiter als im „Mit-Maßnahmen-Szenario“. Die beiden Referenzszenarien bewegen sich deshalb auf unterschiedlichen Reduktionsniveaus. Bezogen auf 1990 be-

trägt im Jahre 2005 der Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario ca. 15 %, während er im IKARUS-Referenzszenario bei 16,8 % liegt.

- „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“

In diesem Szenario werden - ausgehend vom „Mit-Maßnahmen-Szenario“ - Maßnahmen beschrieben, die dazu beitragen könnten, das Reduktionsziel der Bundesregierung für 2005 zu erreichen.

- IKARUS-Reduktionsszenario

Hier wird die Erreichung des Reduktionszieles der Bundesregierung modellseitig durch die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Restriktionen erzwungen. Die jeweiligen sektoralen Minderungsraten sind das Ergebnis der Optimierung. Es werden kostengünstige Handlungsfelder identifiziert, die entweder direkt oder mit Hilfe weiterer modellexogener Rechnungen in Einzelmaßnahmen aufgegliedert werden können.

#### 4.4 Beschreibung der politikrelevanten Energieträger-Begrenzungen

Wegen der bisher erfolglosen Energiekonsensgespräche ist z.B. die Entwicklung der Kernenergie und der Steinkohlennutzung bis 2005 nicht eindeutig erkennbar. Um Szenarien rechnen zu können, müssen jedoch bestimmte Annahmen getroffen werden. Die dazu festzulegenden Eckwerte sind obere und untere Grenzwerte, deren Erreichbarkeit unter den Bedingungen eines Referenz- sowie eines zielgerichteten Reduktionsszenarios für möglich und notwendig gehalten wird. *Die hier zugrundegelegten Begrenzungen sind Szenarioannahmen und keine energiepolitischen Empfehlungen.*

Im folgenden wird ein Teil der gewählten Begrenzungen aus Orientierungsgründen mit entsprechenden Prognos-Schätzungen für 2005 verglichen. Dabei ist zu beachten, daß es sich bei den Ergebnissen der Prognos-Studie um Prognosewerte handelt, während hier die Begrenzungen so angelegt sind, daß damit das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel der Bundesrepublik Deutschland von 25 % im Jahre 2005 erreicht wird. Prognos erwartet bis dahin eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von nur 8 % (Prognos 1995).

Weiterhin ist zu beachten, daß die oberen und unteren Begrenzungen vom Modell je nach Szenario unterschiedlich ausgeschöpft werden können. Der optimierte Ergebniswert

für eine bestimmte Aktivität kann deshalb durchaus von den Werten der oberen oder unteren Begrenzung abweichen.

- **Begrenzungen für Steinkohle**

#### *Steinkohle Gewinnung alte Bundesländer*

In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde eine Mindestförderung von Steinkohle im Jahre 2005 von 39 Mill t = 1 100 PJ entsprechend Prognos zugrunde gelegt.

#### *Steinkohle Verstromung alte Bundesländer*

Hier wurde für 2005 eine Untergrenze von 500 PJ (ohne Heizkraftwerke) angenommen. Der Wert wurde aus der Datenbasis des IKARUS-Projektes übernommen. Diese Untergrenze wird im Referenzfall überschritten (803 PJ). Prognos geht von einer Steinkohle-verstromung (heimische und Import-Kohle) von 1 341 PJ im Jahre 2005 aus.

#### *Steinkohle Import*

Die billigen Steinkohle-Importe können sich im Jahre 2005 für die alten Bundesländer auf maximal 800 PJ belaufen. Prognos gibt 871 PJ als Erwartungswert an. Die Optimierungsrechnungen mit dem IKARUS-Modell zeigen, daß die obere Grenze von 800 PJ wegen der CO<sub>2</sub>-Restriktionen auf keinen Fall erreicht wird. Für die neuen Bundesländer wird eine obere Grenze von 270 PJ angenommen.

- **Begrenzungen für Braunkohle**

#### *Braunkohle Gewinnung*

Die Braunkohleförderung in den alten Bundesländern im Jahr 2005 wird auf 970 PJ nach oben begrenzt. Nach Merten et al. (1995) war für das Jahr 2005 in den neuen Bundesländer eine Braunkohleförderung von 89,4 Mill. t vorgesehen. Aufgrund neuerer Entwicklungen wurde in Abstimmung mit dem Projektarbeitskreis eine Mindestfördermenge von rund 70 Mill. t und eine maximale Fördermenge von rund 90 Mill. t (ca. 640 PJ bzw. ca. 830 PJ) für die Szenariorechnungen zugrunde gelegt. Prognos geht für die neuen Bundesländer von einer Braunkohlegewinnung von 693 PJ im Jahre 2005 aus.

### *Braunkohle Verstromung alte Bundesländer*

Entsprechend den Vereinbarungen im IKARUS Projekt wurde für die Verstromung von Braunkohle in den alten Bundesländern für 2005 eine untere Begrenzung von 750 PJ gesetzt.

### *Braunkohle Verstromung neue Bundesländer*

Für die Verstromung wurde eine untere Grenze von 550 PJ im Jahre 2005 zugrunde gelegt. Prognos erwartet einen Umwandlungseinsatz in Kraftwerken von rund 600 PJ aus.

### • Begrenzungen für Erdgas

#### *Importe (alte und neuen Bundesländer)*

Die folgende Abschätzung der oberen Grenze der Erdgasimporte basiert auf der Reservesituation in Westeuropa und in Rußland entsprechend den Angaben in der Prognos-Studie. Danach haben die westeuropäischen Förderländer noch ein Potential, um die Gasgewinnung bis zum Jahre 2010 um rund 50 % zu steigern (bezogen auf 1994). Interpoliert man linear auf 2005, so reduziert sich die Steigerungsrate auf 34,4 %. Zur Berechnung der oberen Grenze werden die Importe im Jahre 1994 aus den westeuropäischen Ländern um 35 % (gerundet) erhöht. Dies ist in den ersten beiden Zeilen von Tabelle 108 dargestellt.

Tabelle 108

#### **Herleitung der oberen Grenze für den Gasimport nach Deutschlands im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer	Deutschland	
		1994	2005
Einführen aus	1989	Mrd. m <sup>3</sup>	
Niederlande	17,9	22,6	30,5
Norwegen	5,8	12,1	16,3
GUS (UdSSR)	20,0	31,1	47,5
Sonstige Länder	1,5	2,9	3,9
Summe	49,2	68,7	98,2

Außerdem weist die Prognos-Studie bis zum Jahre 2020 ein zusätzliches Lieferpotential Rußlands für Westeuropa von 86 Mrd. m<sup>3</sup> aus. Die lineare Interpolation auf 2005 führt zu einem Wert von 36,4 Mrd. m<sup>3</sup>. Im Jahre 1994 hat Deutschland knapp 30 % der west-europäischen Importe von Rußland bezogen. Erhöht man diesen Wert in optimistischer Weise auf 45 %, so ergeben sich die zusätzlichen Importpotentiale für Deutschland zu 16,4 Mrd m<sup>3</sup>. Die obere Grenze liegt 46 % über dem 1994er Import. Prognos erwartet solche Steigerungsraten erst für das Jahr 2020.

Die Importe in Höhe von insgesamt 98,2 Mrd. m<sup>3</sup> oder von insgesamt 3 110 PJ (unterer Heizwert 31,7 MJ/m<sup>3</sup>) werden im Verhältnis 5 zu 1 auf die alten (2 600 PJ) und neuen Bundesländer (510 PJ) aufgeteilt. Dieses Verhältnis ist aus der Prognos-Studie (1995) abgeleitet.

#### *Heimische Erdgasförderung*

Für die Erdgasgewinnung im Jahre 2005 werden im IKARUS-Modell für die alten Bundesländer eine Untergrenze von 250 PJ und eine Obergrenze von 390 PJ unterstellt (Prognos = 463 PJ). In den neuen Bundesländern wird keine Gasförderung angenommen.

#### • **Begrenzungen für Kernenergie<sup>47</sup>**

Analog zur Prognos-Studie wird einerseits davon ausgegangen, daß drei kleine Anlagen (Würigassen, Obrigheim und Stade) stillgelegt werden. Andererseits wird ein leistungssteigerndes Upgrading der Turbinenschaufeln der verbleibenden Anlagen unterstellt. Beide Maßnahmen führen in der Summe zu einer Netto-reduktion von ca. 1,3 GW. Zugrunde gelegt wird letztendlich eine Kernkraftwerkskapazität von 21,1 GW<sub>netto</sub> (hierin ist die gegenwärtig außer Betrieb gesetzte Anlage Mülheim-Kärlich enthalten).

#### • **Begrenzungen für Windkraft**

Bei den Optimierungsrechnungen wird ein weiterer linearer Anstieg der Windkraft-Kapazität angenommen. Der Ausbau stieg in den letzten sechs Jahren von praktisch Null auf 1,3 GW im Jahre 1996. Diese Entwicklung führt bei linearer Fortschreibung auf eine

<sup>47</sup> Diese mit dem Auftraggeber und der IMA-CO<sub>2</sub> abgestimmte Annahme entspricht in etwa der derzeitigen Beschlußlage der Bundesregierung, die von einer konstanten Kernkraftkapazität bis zum Jahr 2005 ausgeht.

Kapazität von rund 3,2 GW im Jahre 2005 für Deutschland insgesamt. Die Aufteilung auf die alten und neuen Bundesländer erfolgt im Verhältnis 5 zu 1, d.h. 2,7 GW für die alten und 0,5 GW für die neuen Bundesländer. Für die alten Bundesländer wird eine Untergrenze von 2,7 GW und eine Obergrenze von 4,0 festgelegt.

• **Begrenzungen für Biomasse, Raps und Biogas**

Die Biomassenutzung beläuft sich derzeit in Deutschland auf rund 100 - 120 PJ. Dabei handelt es sich überwiegend um feste Biomasse. Den Modellrechnungen werden folgende Obergrenzen vorgegeben:

	alte Bundesländer	neue Bundesländer
Feste Biomasse	161 PJ	65 PJ
Raps	31 PJ	20 PJ
Bioethanol	38,5 PJ	33,5 PJ
Biogas	83,3 PJ	24,9 PJ

Die wichtigsten Begrenzungen für die verschiedenen Energieträger sind noch einmal in der folgenden Tabelle 109 zusammengefaßt.

Tabelle 109

**Wichtige energiepolitische Begrenzungen für die Modellrechnungen für Deutschland im Jahre 2005**

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
Steinkohle Gewinnung (PJ)	>1100	----
Steinkohle Verstromung (PJ)	> 500	-----
Steinkohle Importe (PJ)	< 800	< 270
Braunkohle Gewinnung (PJ)	< 970	> 640 und < 830
Braunkohle Verstromung (PJ)	> 750	> 550
Erdgas Importe (PJ)	< 2600	< 510
Kernenergie (GW)	= 21.1	----
Windkraft Küste (GW)	> 2.7 und < 3.2	> 0.5 und < 1.1
Windkraft Binnenland (GW)	< 0,8	< 0,3
Feste Biomasse (PJ)	< 161	< 65
Bioethanol (PJ)	< 38,5	< 33,5
Raps (PJ)	< 31	< 20
Biogas (PJ)	< 83,3	< 24,9
Müllverwertung (PJ)	< 140	< 30

## 5 Ergebnisse der IKARUS-Szenariorechnungen

### 5.1 Referenzszenarien für die alten und neuen Bundesländer 1989/2005

Die Referenzszenarien spiegeln eine gewisse Erwartungshaltung für die Entwicklung von 1989 bis 2005 wider und repräsentieren quasi den „no regret“ - Fall. Dabei ist der Lösungsraum für 2005 allerdings groß genug, um unterschiedliche mögliche Entwicklungen zu erfassen. Unter der Annahme, daß keine besonderen Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion ergriffen werden, d.h. das Modell optimiert ohne eine bestimmte CO<sub>2</sub>-Restriktion, wird eine Energieversorgung für das Jahr 2005 nur nach minimalen Gesamtkosten ausgesucht. Bei der Bewertung der Ergebnisse sind einerseits die steigenden Nachfragen nach Energiedienstleistungen bis 2005 zu sehen, andererseits sind autonome Effizienzverbesserungen sowie Strukturveränderungen zu beachten.

#### *Übersicht alte und neue Bundesländer*

Die Entwicklung der Energieversorgung zwischen 1989 und 2005 im Modell ist für die alten und neuen Bundesländer vor dem Hintergrund der einschneidenden strukturellen Änderungen in Ostdeutschland erwartungsgemäß unterschiedlich.

Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs von 1989 bis 2005 ist in Abbildung 9 dargestellt, und die dazugehörigen Veränderungen sind numerisch in Tabelle 110 aufgeführt.

In den alten Bundesländern halbiert sich der Einsatz deutscher Steinkohle (entsprechend der unteren Grenze für die Förderung), während die Importkohlemengen um ca. 380 PJ steigen. Insgesamt gehen aber die Steinkohlemengen zurück, sowohl absolut als auch relativ. Der Braunkohleverbrauch sinkt ebenfalls (um etwa 8 %). Diese Entwicklung ist im Umwandlungsbereich wie beim Einsatz von Braunkohlebriketts in den Endverbrauchersektoren festzustellen. Rohöl und Importe von Ölprodukten nehmen leicht zu. Der Erdgaseinsatz wächst um rund 20 %, und der Einsatz von Biogas im Jahr 2005 beträgt 25 - 30 PJ. Der Zuwachs regenerativer Energieträger zur Stromerzeugung ist auf den Neubau von Windkraftanlagen zurückzuführen. Die Menge an Müll die zur Strom- und Wärmeerzeugung verwertet werden, steigt um ca. 60 PJ (Sonstige).

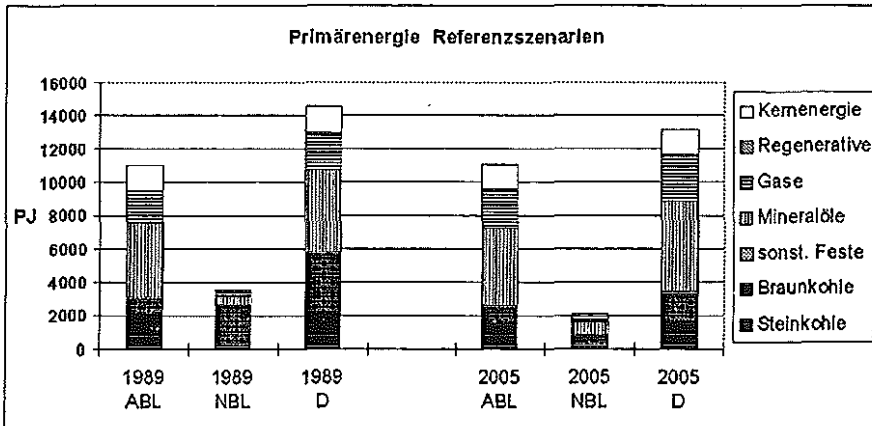
Tabelle 110

**Primärenergieverbrauch<sup>1)</sup> nach Energieträgern bis 2005 im Referenzszenario**

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer			
	Primärenergie- verbrauch im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005	Primärenergie- verbrauch im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005
	PJ		%		PJ		%	
Steinkohle	1 619	-467	18,9	14,6	100	-66	4,7	4,8
Braunkohle	871	-75	8,6	7,9	707	-1 788	70,8	34,1
Öl	4 628	180	40,3	41,8	782	308	13,4	37,8
Gase	2 237	376	16,9	20,2	444	187	7,3	21,4
Regenerative	91	22	0,6	0,8	5	0	0,1	0,2
Kernenergie	1 475	-60	13,9	13,3	0	-130	3,7	0,0
Sonstige	141	58	0,8	1,3	33	31	0,1	1,6
Summe	11 062	34	100,0	100,0	2 071	-1 468	100,0	100,0

<sup>1)</sup> Das fossile Primärenergieäquivalent ist im Fall der regenerativen Energie mit 1,0 und im Fall der Kernenergie mit 3,0 angesetzt.

Abbildung 9

**Struktur des Primärenergieverbrauchs 1989 und 2005  
nach Energieträgern im Referenzszenario**

Gegenüber 1989 ist der Primärenergieverbrauch in den neuen Bundesländern stark rückläufig (rund 60 %). Besonders deutlich ist der Rückgang an Braunkohle, die 1989 noch einen Anteil von über 70 % hatte und deren Anteil im Jahr 2005 nach den Modellrechnungen 34 % beträgt. Dieser Anteil ist allerdings immer noch erheblich höher als in den alten Bundesländern, weil im Jahr 2005 etwa 550 PJ Braunkohle weiterhin zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Die Kernkraftwerke sind in den neuen Bundesländern schon 1992 stillgelegt worden. Die Anteile von Öl und Gas an der Primärenergie gleichen sich für die alten und neuen Bundesländer an.



Bei der Endenergie (Tabellen 111 und 112 sowie die Abbildungen 10 und 11) geht der Einsatz von Kohleprodukten ganz erheblich zurück. In den alten Bundesländern ist die Reduzierung der Steinkohle auf den verminderten Einsatz von Koks in der Eisen- und Stahlindustrie zurückzuführen. In neuen Bundesländern ist die Verwendung von Braunkohlenbriketts etc. stark rückläufig. Während 1989 noch etwa 720 PJ an Braunkohle in den Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher eingesetzt wurden, beträgt der Verbrauch im Jahr 2005 weniger als 50 PJ.

Tabelle 111

**Endenergieverbrauch nach Energieträgern bis 2005 im Referenzszenario**

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer			
	Endenergie- verbrauch im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005	Endenergie- verbrauch im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005
	PJ		%		PJ		%	
Steinkohle	476	-274	10,2	6,3	39	-85	5,5	2,7
Braunkohle	40	-28	0,9	0,5	55	-906	42,6	3,7
Öl	3 442	132	45,0	45,5	618	343	12,2	42,0
Gase	1 608	325	17,5	21,3	291	25	11,8	19,8
Strom	1 378	45	18,1	18,2	264	-42	13,6	17,9
Fernwärme	276	-14	3,9	3,6	143	-82	10,0	9,7
Sonstige	1	-2	0,0	0,0	3	2	0,0	0,2
Prozeßwärme Industrie	342	27	4,3	4,5	58	-38	4,3	3,9
Summe	7 563	211	100,0	100,0	1 471	-783	100,0	100,0

In den alten Bundesländern wie auch in den neuen Bundesländern nehmen die Ölprodukte (leichtes Heizöl, Benzin, Diesel) sowie Erdgas zu. Die Zunahme in den alten Bundesländern ist im wesentlichen auf den erhöhten Einsatz von Diesel im Verkehrssektor zurückzuführen, der den verminderten Einsatz von Heizöl überkompensiert. In den neuen Bundesländern wächst die Menge an Ölprodukten stark an. Zwei Drittel des Zuwachses ergibt sich aus der erhöhten Verkehrsleistung, während ein Drittel auf die Zunahme der Ölheizung im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher zurückzuführen ist.

Der Endenergiebedarf an Erdgas erhöht sich um insgesamt 400 PJ auf 1 900 PJ. Dabei wächst der Erdgasanteil am Endenergieverbrauch in den alten und neuen Bundesländern auf etwa 20 %. Die Zusatzmengen dienen zur Erzeugung von Prozeßwärme und Raumwärme. Erdgas substituiert in den neuen Bundesländern auch Stadtgas.

Abbildung 10

### Struktur des Endenergieverbrauchs 1989 und 2005 nach Energieträgern im Referenzszenario

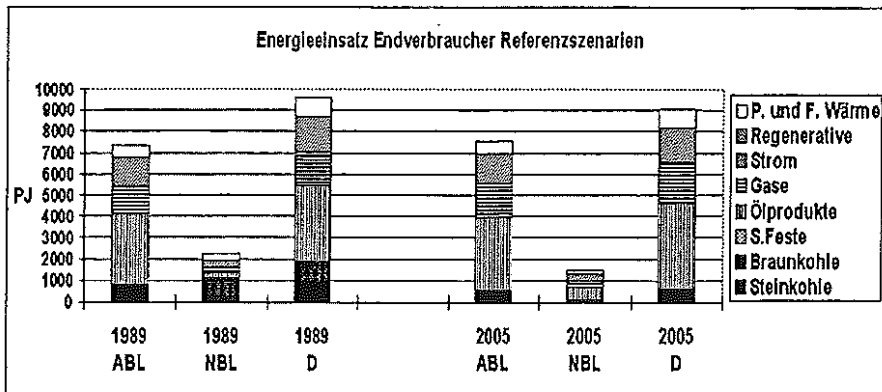


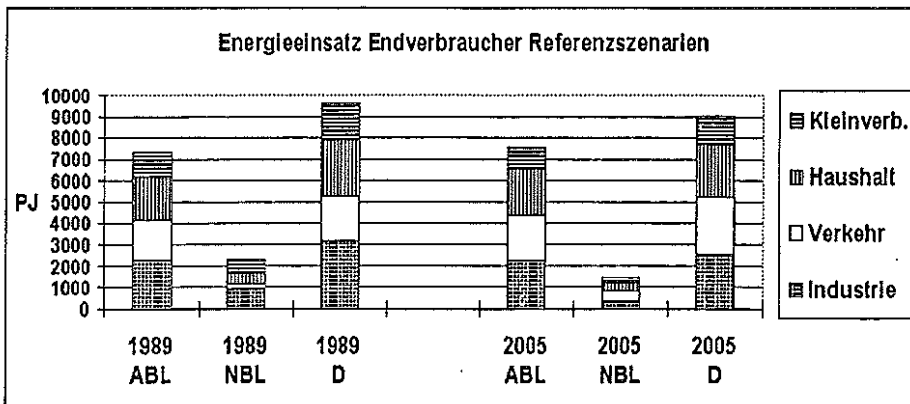
Tabelle 112

### Endenergieverbrauch nach Sektoren bis 2005 im Referenzszenario

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer			
	Endenergie- verbrauch im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005	Endenergie- verbrauch im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005
	PJ		%		PJ		%	
Haushalt	2 125	57	28,1	28,1	388	-159	24,3	26,4
Kleinverbraucher	1 024	-127	15,7	13,5	256	-313	25,2	17,4
Verkehr	2 197	327	25,4	29,0	504	273	10,2	34,3
Industrie	2 217	-46	30,8	29,3	323	-584	40,2	22,0
Summe	7 563	211	100,0	100,0	1 471	-783	100,0	100,0

Abbildung 11

### Struktur des Endenergieverbrauchs 1989 und 2005 nach Sektoren im Referenzszenario



Die oben beschriebenen Veränderungen in der Energieverbrauchsstruktur führen zu den in Tabelle 113 und Abbildung 12 gezeigten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Tabelle 113

**CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren bis 2005 im Referenzszenario**

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer			
	CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005	CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005
	Mill. t CO <sub>2</sub>		%		Mill. t CO <sub>2</sub>		%	
Umwandlung <sup>1)</sup>	209	-18	32,9	31,5	83	-67	47,2	51,2
Haushalt	119	4	16,7	17,9	16	-25	12,9	9,9
Kleinverbraucher	46	-8	7,8	6,9	10	-33	13,5	6,2
Verkehr	159	25	19,4	23,9	35	19	5,0	21,6
Industrie	131	-29	23,2	19,7	18	-50	21,4	11,1
Summe	664	-26	100,0	100,0	162	-156	100,0	100,0

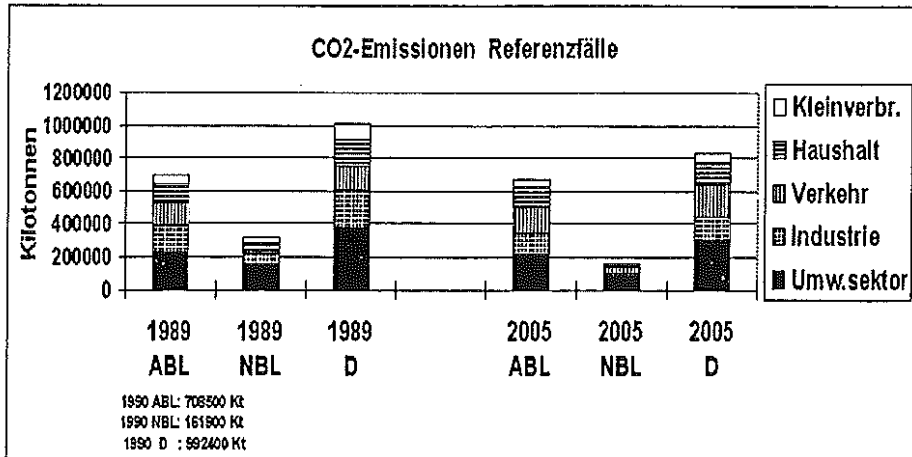
<sup>1)</sup> Einschließlich Emissionen bei der Förderung der Primärenergieträger

Insgesamt wird für Deutschland eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 18 % (16,8 %) im Vergleich zu 1989 (1990) erreicht. Dazu tragen die Bundesländer unterschiedlich bei. Während die CO<sub>2</sub>-Emissionen verglichen mit 1989 (1990) in den alten Bundesländern nur um 26 Mill. t (45 Mill. t) entsprechend 3,8 % (6,3 %) reduziert werden, beläuft sich die entsprechende Zahl in den neuen Bundesländern auf 156 Mill. t (121 Mill. t) entsprechend 51,0 % (43,0 %).

Im Unterschied zu den anderen Sektoren erhöhen sich sowohl in den alten wie auch in den neuen Bundesländern die Emissionen im Verkehrssektor zum Teil erheblich. Die Emissionsminderung ist besonders auffällig im Umwandlungsbereich der neuen Bundesländer und in der Industrie (alte und neue Bundesländer). Dazu trägt im wesentlichen die Verringerung der Stromerzeugung und Prozeßwärmeerzeugung auf Braunkohlebasis in den neuen Bundesländern bei, sowie der Rückgang der Eisen- und Stahlerzeugung im Industriesektor der alten Bundesländer.

Die sektoralen Anteile der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in den alten und neuen Bundesländern im Jahr 2005 unterschiedlich. Zwar dominieren in beiden Gebieten die Emissionen aus dem Umwandlungssektor, allerdings liegt dieser Anteil in den neuen Bundesländern mit über 50 % erheblich höher als in den alten Bundesländern mit 31,5 %.

Abbildung 12

Struktur der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren 1989 und 2005 im Referenzszenario

Bei den vorgestellten Referenzszenarien für das Jahr 2005 wird der Zielwert der Bundesregierung von 25 % CO<sub>2</sub>-Reduktion, bezogen auf 1990, nicht erreicht. Es müssen weitere Veränderungen stattfinden, um dieses Ziel zu erreichen. Diese Veränderungen hinsichtlich Energieträgerzusammensetzung, Technikwechsel und andere Maßnahmen werden in Kapitel IV.5.2 diskutiert.

#### *Die wichtigsten Ergebnisse der Referenzszenarien*

Im folgenden werden die wichtigsten sektoralen Veränderungen zwischen 1989 und 2005 summarisch dargestellt.

#### • Stromsektor (alte Bundesländer)

Die folgenden Neubaukapazitäten werden vom Modell errichtet

- 2,0 GW Braunkohlekraftwerke
- 1,6 GW Erdgas-GuD-Kraftwerke
- 0,3 GW Wasserkraftwerke
- 2,7 GW Windkraftwerke
- 22 MW Photovoltaik

Der Stromerzeugung insgesamt verändert sich kaum (Abbildung 13). Der Anteil aus Erdgas wächst auf 7 %, während der aus Steinkohle von 25 % auf 20 % abnimmt. Windkraft trägt zur gesamten Stromerzeugung 1,5 % bei. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermindert sich um knapp 12 Mill. t, d.h. um ca. 6 % (ohne Heizkraftwerke und Industriekraftwerke).

- Stromsektor (neue Bundesländer)

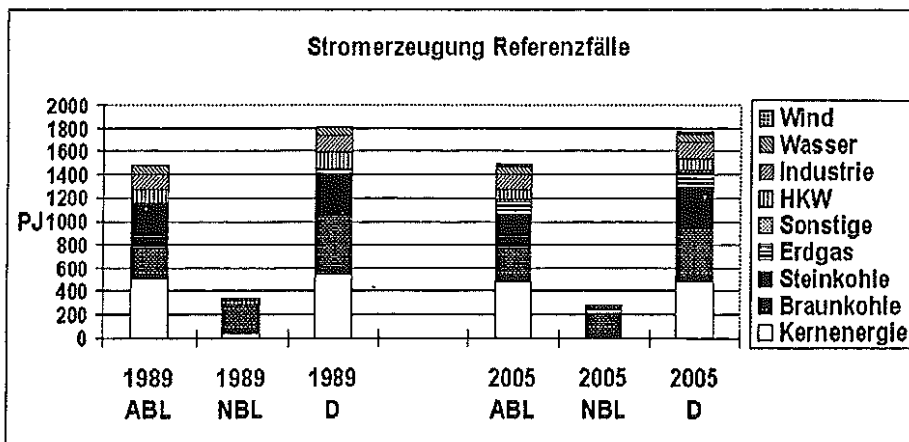
In Analogie zur Stilllegung von Kraftwerkskapazität, werden in den neuen Bundesländern nachstehende Kraftwerkskapazitäten zugebaut bzw. nachgerüstet.

- 5,4 GW Braunkohlekraftwerke
- 1,8 GW Gaskraftwerke
- 1,7 GW Erdgas-GuD-Kraftwerke
- 1,2 GW Steinkohlekraftwerke.

Bedingt durch eine rückläufige Stromnachfrage nimmt die Stromerzeugung um 16 % ab (Abbildung 13). Die Braunkohle bleibt weiterhin der wichtigste Energieträger. Allerdings geht der Anteil des Braunkohlestroms von 85 % auf 70 % zurück. Die Kernkraftwerke (1,8 GW) wurden bereits stillgelegt. Die Stromerzeugung aus Gaskraftwerken beträgt 40 PJ, ihr Anteil liegt bei 15 % der gesamten Stromerzeugung. Insgesamt verringern sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 30 Mill. t, was einem Rückgang von rund 30 % entspricht.

Abbildung 13

**Struktur der Stromerzeugung 1989 und 2005 im Referenzszenario**



- Wärmesektor (neue Bundesländer)

Der Braunkohleeinsatz in Heizwerken und Heizkraftwerken sinkt um 220 PJ, wird aber zum Teil durch andere Energieträger ersetzt. Insgesamt verringert sich die Fernwärmeerzeugung um 35 %. Der CO<sub>2</sub>-Rückgang in diesem Sektor beträgt 21 Mill. t.

- Industrie

In den alten und neuen Bundesländern wird weniger Kohle eingesetzt. In den alten Bundesländern wird im Bereich der Wärme- und Dampferzeugung ein Teil der Kohle durch Gas ersetzt und der Kokseinsatz zur Rohstahlerzeugung geht stark zurück.

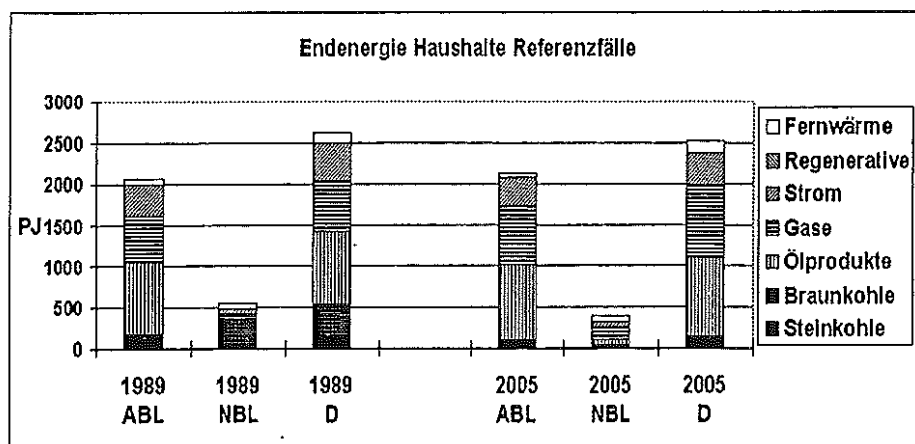
In den neuen Bundesländern werden nur noch 8 % der Braunkohlenmenge von 1989 genutzt. Ersetzt wird die Braunkohle hier zu 43 % durch Öl und zu 57 % durch Erdgas. Insgesamt geht der Energiebedarf in den neuen Bundesländern um zwei Drittel zurück. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindern sich um 29 Mill. t in den alten Bundesländern und um 50 Mill. t in den neuen Bundesländern.

- Haushalte und Kleinverbraucher

In den beiden Endverbrauchersektoren nimmt der Einsatz von Erdgas zu, insbesondere im Haushaltssektor in den alten und neuen Bundesländern (Abbildung 14). In den neuen Bundesländern ist der Rückgang an Braunkohle - von einem Anteil von mehr als 60 % im Jahre 1989 auf 7 bis 8 % im Jahre 2005 - in beiden Sektoren sehr deutlich. Grund hierfür ist die Verringerung des Endenergieverbrauchs um 30 % (Haushalte) bzw. 55 % (Kleinverbraucher) sowie die Substitution der Braunkohle durch Gas und Öl.

Abbildung 14

### Struktur des Endenergieverbrauchs der Haushalte bis 2005 im Referenzszenario



In den alten Bundesländern erhöht sich der Energieverbrauch der Haushalte trotz steigender Wohnfläche bedingt durch Effizienzverbesserungen und Maßnahmen zur Wärmedämmung nur um etwa 3 %. Der Endenergieverbrauch der Kleinverbraucher in den alten Bundesländern nimmt um ca. 10 % ab.

Insgesamt ergibt sich hieraus eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 62 Mill. t für die Bundesrepublik Deutschland insgesamt. (Tabelle 113 und Abbildung 12).

- Verkehr

Aufgrund der steigenden Nachfrage an Verkehrsleistung erhöht sich der Endenergieverbrauch in diesem Sektor erheblich, und zwar um 18 % in den alten Bundesländern und um 118 % in den neuen Bundesländern.

Die Veränderungen der Verkehrsleistung nach unterschiedlichen Verkehrsarten innerhalb des Zeitraumes von 1989 bis 2005 zeigt Tabelle 114.

Tabelle 114

**Entwicklung der Verkehrsleistungen bis 2005  
nach Verkehrsarten im Referenzszenario**

	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer			
	Verkehrsleistungen im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005	Verkehrsleistungen im Jahre 2005	Änderung von 1989 bis 2005	Anteil 1989	Anteil 2005
	Mrd. Pkm/tkm		%		Mrd. Pkm/tkm		%	
PNV öffentlich	55	2	7,7	6,5	10	-9	13,5	4,7
PNV individuell	412	82	47,8	48,5	96	38	41,1	44,9
PFV öffentlich	60	21	5,7	7,1	45	6	27,7	21,0
PFV individuell	323	55	38,8	38,0	63	38	17,7	29,4
Summe PV	850	160	100,0	100,0	214	73	100,0	100,0
GNV	71	24	16,7	17,1	16	7	12,0	11,6
GFV Straße	190	67	43,8	45,8	34	29	6,7	24,6
GFV Schiene	70	10	21,4	16,9	70	11	78,7	50,7
GFV Sonst.	84	33	18,1	20,2	18	16	2,7	13,0
Summe GV	415	134	100,0	100,0	138	63	100,0	100,0

PNV: Personennahverkehr, PFV: Personenfernverkehr, GNV: Güternahverkehr, GFV: Güterfernverkehr

In den alten Bundesländern steigt der Personennahverkehr um 22 %, dabei bleibt der öffentliche Verkehr in etwa konstant. Der Anteil von Pkw an den gesamten Personenkilometern nimmt um 25 % zu, wobei die Zunahme der Verkehrsleistung der Dieselfahrzeuge von 54 auf 78 Mrd. Pkm mit 44 % stärker ist als die Zunahme bei den Benzinfahr-

zeugen von 271 auf 330 Mrd. Pkm (entsprechend 22 %). Eine ähnliche Entwicklung findet im Personenfernverkehr statt. Allerdings wächst hier der öffentliche Verkehr mit 54 % stark.

In den neuen Bundesländern bleibt die absolute Verkehrsleistung des öffentlichen Verkehrs nahezu unverändert, allerdings sinkt die Verkehrsleistung im Nahverkehr und steigt im Fernverkehr, während der Individualverkehr von 83 auf 159 Mrd. Pkm zunimmt und damit etwa 74 % des gesamten Personenverkehrs ausmacht.

Der Güterverkehr steigt in den alten Bundesländern mit 47 % und in den neuen Bundesländern mit 85 % kräftig. In den alten Bundesländern wächst der Straßengüterverkehr um über 50 % und in den neuen Bundesländern sogar um mehr als 250 %. Der Anstieg des schienengebundenen Güterverkehrs bleibt dagegen mit 17 % relativ moderat für die alten Bundesländer und 19 % für die neuen Bundesländer.

Die Beiträge der Verkehrsarten zum Verkehrsaufkommen verändern sich in den alten Bundesländern kaum; in den neuen Bundesländern nehmen dagegen die Anteile des Individualverkehrs und des Straßengüterverkehrs zu.

Aufgrund des wachsenden Kraftstoffbedarfs, insbesondere für Diesel, steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2005 wie folgt:

- Alte Bundesländer, Personenverkehr	+11,3 Mill. t
- Alte Bundesländer, Güterverkehr	+13,4 Mill. t
- Neue Bundesländer, Personenverkehr	+14,7 Mill. t
- Neue Bundesländer, Güterverkehr	+4,7 Mill. t

Insgesamt sind die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 2005 um rund 44 Mill. t höher als 1989.



## 5.2 Reduktionsszenarien für die alten Bundesländer 2005

Im Referenzfall 2005 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich über dem Zielwert der Bundesregierung. Tabelle 115 zeigt die Emissionen im Referenzszenario und die gesetzten Begrenzungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Reduktionsfall.

Tabelle 115

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzszenario sowie CO<sub>2</sub>-Begrenzungen im Reduktionsfall bis zum Jahre 2005**

	1989 <sup>2)</sup>	1990 <sup>3)</sup>	2005	Veränderungen 1990 bis 2005	
	Mill. t				%
<b>Referenzszenario</b>					
Alte Bundesländer	690	709	664	-45	-6,3
Neue Bundesländer	318	284	162	-122	-43,0
Deutschland	1007	992	826	-167	-16,8
<b>Reduktionsfall<sup>1)</sup></b>					
Alte Bundesländer	690	709	582	-126	-17,8
Neue Bundesländer	318	284	162	-122	-43,0
Deutschland	1007	992	744	-248	-25,0

<sup>1)</sup> Für die neuen Bundesländer wird das Reduktionsszenario dem Referenzszenario gleichgesetzt. - <sup>2)</sup> Ausgangswerte für das IKARUS-Modell. - <sup>3)</sup> Interpolierte Werte; stimmen für die neuen Bundesländer nicht mit den "offiziellen" Angaben überein, wonach dort im Jahre 1990 die CO<sub>2</sub>-Emissionen 305 Mill. t betrugen. Aus Gründen einer modellinternen Konsistenz wurde diese Differenz in Kauf genommen.

Der Zielwert von 25 % in bezug auf 1990 wird erreicht, wenn für die alten Bundesländer ein CO<sub>2</sub>-Grenzwert von 582 Mill. t gesetzt wird, was einer Reduktion um 17,8 % entspricht. Dies bedeutet eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktion um 12,2 % gegenüber dem Referenzfall für die alten Bundesländer 2005. Der CO<sub>2</sub>-Wert für die neuen Bundesländer bleibt vereinbarungsgemäß unverändert bei 162 Mill. t.

Es werden zwei Szenarien für die alten Bundesländer definiert, um zu diesem Ziel zu gelangen:

- Begrenzung auf die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen: Szenario CG\_AL05. Hier bestimmt das Modell, wieviel CO<sub>2</sub> in den jeweiligen Sektoren reduziert wird. Die sektoralen Reduktionsraten des Szenarios sind also Ergebnis der Optimierung.

- Begrenzung der sektoralen und gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen: Szenario CS\_AL05. Hier werden dem Modell sektorale CO<sub>2</sub>-Reduktionsraten vorgegeben, mit denen insgesamt das Reduktionsziel für das Jahr 2005 von 25 % erreicht wird. Ziel ist, die Wirkung solcher sektoraler Reduktionsraten im Vergleich zu einer globalen Reduktionsrate aufzuzeigen.

Tabelle 116 zeigt die eingestellten oberen Begrenzungen für die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es wurde vereinbart, die relative Belastung der Sektoren auf die Emission im Referenzfall möglichst gleichmäßig zu verteilen.

Tabelle 116

**Sektorale CO<sub>2</sub>-Begrenzungen in den Reduktionsszenarien  
für die alten Bundesländer bis 2005**

CO <sub>2</sub> -Begrenzungen	CG_AL05	CG_AL05	CS_AL05	CS_AL05
	CO <sub>2</sub> -Emissionen 2005 in Mill. t	Reduktion gegenüber dem Referenzfall in %	CO <sub>2</sub> -Emissionen 2005 in Mill. t	Reduktion gegenüber dem Referenzfall in %
Umwandlungssektoren <sup>1)</sup>				
Industrie			127	-3,4
Kleinverbraucher			40	-12,2
Haushalt			104	-12,2
Verkehr			139	-12,2
Insgesamt	582	-12,2	582	-12,2

<sup>1)</sup> Einschließlich Emissionen bei der Förderung der Primärenergieträger. Da zusätzlich zur globalen Reduktionsrate lediglich für die Endverbrauchssektoren sektorale Reduktionsraten vorgegeben werden, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Umwandlungssektors Ergebnis des Optimierungslaufes.

Im Falle der sektoralen Begrenzungen (CS\_AL05) wird die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Restriktion von -12,2 % bezogen auf den Referenzfall 2005 für alle Endverbrauchssektoren gleich gesetzt. Ausgenommen ist allerdings der Industriesektor, in dem eine zusätzliche Reduktion in dieser Höhe nicht möglich ist, weil das Reduktionspotential schon weitgehend im Referenzszenario ausgeschöpft wurde. Daher muß rechnerisch im Umwandlungsbereich (inklusive Primärsektor) etwas mehr als in den anderen Sektoren reduziert werden. Dies zeigen auch die Rechenergebnisse in Tabelle 116.

Im folgenden werden die Ergebnisse der Reduktionsfälle im Vergleich zum Referenzfall REF\_AL05 dargestellt. Änderungen in bezug auf den Referenzfall 1989 ergeben sich dann im Vergleich zu den in Kapitel 5.1 aufgelisteten Werten.

### Emissionen und Kosten

Die Ergebnisse und Vorgaben der Rechnungen für die Reduktionsfälle werden hier zusammengefaßt. Detaillierter werden die Ergebnisse sowie Aspekte bei der Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen in Kapitel 6 beleuchtet. Tabelle 117 und Abbildung 15 zeigen die sektoralen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Tabelle 117

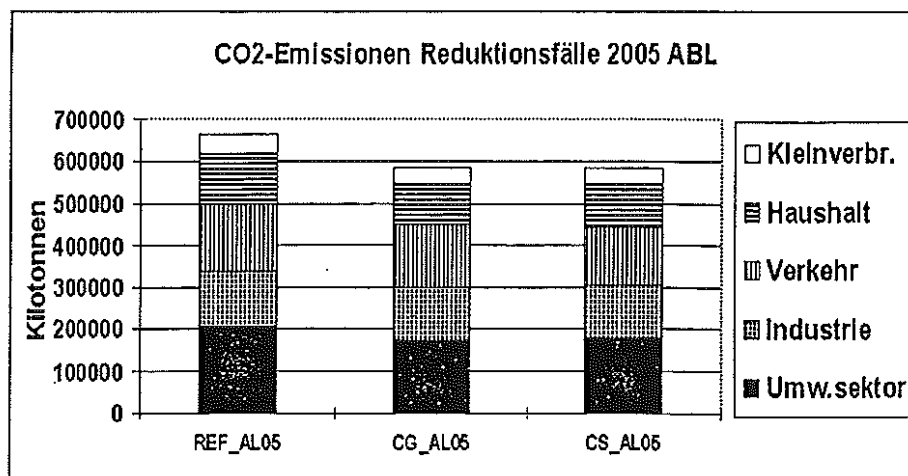
#### Sektorale CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Reduktionsszenarien im Jahre 2005 in den alten Bundesländern

CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t	REF_AL05	CG_AL05	CG_AL05	CS_AL05	CS_AL05
	Wert	Wert	Änderung gegenüber REF_AL05	Wert	Änderung gegenüber REF_AL05
Umwandlungssektoren <sup>1)</sup>	209	174	-35	178	-31
Industrie	131	127	-4	127	-4
Kleinverbraucher.	46	36	-10	37	-9
Haushalt	119	97	-22	101	-18
Verkehr	159	148	-11	139	-20
Summe	664	582	-82	582	-82

<sup>1)</sup> Einschließlich Emissionen bei der Förderung der Primärenergieträger

Abbildung 15

#### Sektorale Struktur der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Reduktionsszenarien im Jahre 2005 in den alten Bundesländern



In beiden Fällen (CG\_AL05 und CS\_AL05), die in Tabelle 116 spezifiziert wurden, ist die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktion - im Vergleich zum Referenzfall - im Umwandlungssektor am größten und in der Industrie am kleinsten:

- Bei einer globalen CO<sub>2</sub>-Restriktion (CG\_AL05) verringern sich die Emissionen gegenüber dem Referenzfall im Umwandlungssektor um 17 %, im Haushaltssektor um 18 %, im Kleinverbrauchersektor um 22 %, im Verkehrssektor um 7 % und im Industriesektor um 3 %. Dieser Vergleich ist wichtig, weil er zeigt, in welchem Sektor in welchem Umfang *zusätzliche* Maßnahmen zur Zielerreichung realisiert werden müssen.
- Im Fall der sektoralen CO<sub>2</sub>-Restriktionen (CS\_AL05) nehmen die Emissionen im Umwandlungssektor und bei den Haushalten jeweils um 15 %, bei den Kleinverbrauchern um 22 %, im Verkehr um 12 % und in der Industrie um 3 % ab. Dies bedeutet, daß die CO<sub>2</sub>-Begrenzungen (als oberer Grenzwert) in den Sektoren Haushalt und Kleinverbraucher unterschritten werden (Vorgabe -12 %). In den Sektoren Verkehr und Industrie wird im Rechenfall CS\_AL05 der Grenzwert eingehalten.

In beiden Reduktionsszenarien wird die vorgegebene Restriktion einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern im Vergleich zum Referenzfall im Jahre 2005 um 12 % exakt erfüllt. Die zusätzliche Restriktion im Verkehrssektor im Fall CS\_AL05 führt dazu, daß in den anderen Sektoren weniger als im Fall CG\_AL05 reduziert werden muß.

Eine der wichtigsten Entscheidungshilfen für die Auswahl eines effizienten Szenarios zur CO<sub>2</sub>-Minderung sind die Mehrkosten, welche für die Reduktion aufgewendet werden müssen. (Tabelle 118 und Abbildung 16). Diese Kosten werden als Differenz zwischen Systemkosten im Reduktionsfall und im Referenzfall ermittelt.

Tabelle 118

**Mehrkosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Referenzszenario in den alten Bundesländern<sup>1)</sup>**

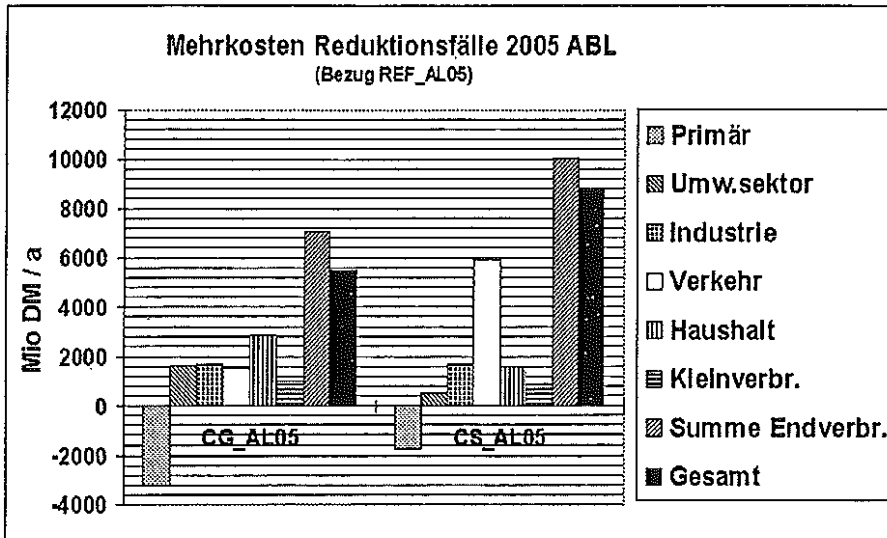
	CG_AL05		CS_AL05	
	Mehrkosten gegenüber Referenzszenario in Mrd. DM/a	Veränderung gegenüber Referenzszenario in %	Mehrkosten gegenüber Referenzszenario in Mrd. DM/a	Veränderung gegenüber Referenzszenario in %
Primärenergien	-3,22	-5,5	-1,74	-3,0
Umwandlung	1,64	3,3	0,52	1,0
Endverbraucher	7,05	1,3	10,03	1,8
Summe	5,47	0,8	8,81	1,3

1) Die aufgelisteten Mehrkosten sind die jährlichen Mehrkosten im Jahr 2005. Ob diese in den Jahren vor 2005 genauso hoch liegen, kann mit dem Modell nicht beantwortet werden, da dies vom jeweiligen Investitionszeitpunkt abhängt. Ein Großteil der Mehrkosten fällt auch über das Jahr 2005 hinaus an, da die Kapitalkosten über die Lebenszeit abgeschrieben werden. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen mit einer großen Lebensdauer, z.B. Wärmedämmmaßnahmen, Kraftwerke u.ä.

Die Reduktionskosten betragen ca. 5,5 Mrd. DM pro Jahr im Szenario CG\_AL05 und etwa 8,8 Mrd. DM im Szenario CS\_AL05. Die höheren Reduktionskosten im Szenario CS\_AL05 geben die Tatsache wieder, daß die Forderung, Sektoren mit der gleichen relativen Reduktion zu belasten, volkswirtschaftlich teurer ist als eine globale CO<sub>2</sub>-Vorgabe mit sektoral differenzierten Anpassungen.

Abbildung 16

#### Sektorale Mehrkosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung in den Reduktionsszenarien



Sektoral ist die Verteilung der Mehrkosten sehr unterschiedlich:

- Im Vergleich zum Referenzszenario 2005 findet aufgrund einer Energieeinsparung im *Primärenergiesektor* (Förderung und Import von Primärenergieträger) eine Kostensenkung statt. Diese Kostenersparnis ist im Fall CS\_AL05 nur halb so groß wie im Fall CG\_AL05. Eine Kostenminderung tritt vorwiegend bei den Importen auf; es wird weniger Mineralöl und Importkohle, aber mehr Gas importiert. Im Fall CS\_AL05 entstehen netto zusätzliche Primärenergiekosten bei der Substitution von Mineralöl durch LPG, Rapsöl und Bioethanol bedingt durch Änderungen im Verkehrssektor.

In den anderen Sektoren steigen dagegen die Kosten:

- Im *Umwandlungssektor* sind die Mehrkosten im Fall CG\_AL05 um 3 % und im Fall CS\_AL05 um 1 % höher als im Referenzfall.

- In den *Endverbrauchersektoren* liegen die Kostensteigerungen im Mittel bei 1,3 % (CG\_AL05) bzw. 1,8 % (CS\_AL05). Im Fall CS\_AL05 dominieren die Zusatzkosten im Verkehrsbereich wegen der CO<sub>2</sub>-Restriktion in diesem Sektor. Einige Maßnahmen im Verkehr - z.B. Spar-Pkw und eine starke Veränderung des modal-split - sind spezifisch sehr teuer und werden vom Modell bei einer Gesamtrestriktion entsprechend CG\_AL05 nicht gewählt. Bei der sektoralen CO<sub>2</sub>-Begrenzung im Verkehrssektor werden die anderen Sektoren (insbesondere Umwandlung und Haushalt) kostenmäßig deutlich entlastet.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktions- oder -vermeidungskosten, d.h. Mehrkosten dividiert durch die geminderten CO<sub>2</sub>-Emissionen, sind der Tabelle 119 zu entnehmen.

Tabelle 119

**Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in den Reduktionsszenarien**

	CG_AL05	CS_AL05
	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten in DM/t	
Umwandlung	46	17
Endverbraucher	155	199
Gesamt	67	108
Grenzkosten <sup>1)</sup>	198	(123) 689

<sup>1)</sup> Im Fall CS\_AL05 stellt die Zahl in Klammern die Grenzkosten für die Gesamtemissionen dar. Die andere Zahl bezieht sich auf den Verkehrssektor

Die spezifischen Durchschnittskosten im Umwandlungsbereich sind deutlich niedriger als im Endverbraucherbereich, insbesondere im Fall CS\_AL05. Die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten für das Gesamtsystem betragen 67 DM/t (CG\_AL05) und 108 DM/t (CS\_AL05). Die Grenzkosten der CO<sub>2</sub>-Minderung liegen erwartungsgemäß erheblich höher als die Durchschnittskosten.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten können mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Faktoren in eine CO<sub>2</sub>-„Pönale“ der Primärenergieträger umgerechnet werden. Tabelle 120 zeigt diese Pönale, die auf der Grundlage der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-(Gesamt-)Kosten aus Tabelle 119 ermittelt worden ist. Daraus ergibt sich für die CO<sub>2</sub>-Pönalen eine ähnliche Größenordnung wie diejenige der Energieträgerpreise. Bei der Braunkohle liegen sie um den Faktor zwei bis vier über dem eigentlichen Preis.

Tabelle 120

**CO<sub>2</sub>-,Pönale“ der Primärenergieträger**

	Energieträgerpreis	CG_AL05	CS_AL05
	DM/GJ	CO <sub>2</sub> -,Pönale* in DM/GJ	
Steinkohle	3,6-7,1	6,2	10,1
Braunkohle	3,3	7,4	12,0
Rohöl	6,0	5,0	8,1
Erdgas	4,6-5,8	3,7	6,0

*Entwicklung des Primär- und Endenergieverbrauchs*

Beim gesamten Primärenergieverbrauch ergibt sich für die Szenarien CG\_AL05 und CS\_AL05 gegenüber dem Referenzfall ein mittlerer Rückgang um rund 6 % wie Tabelle 121 und Abbildung 17 zeigen.

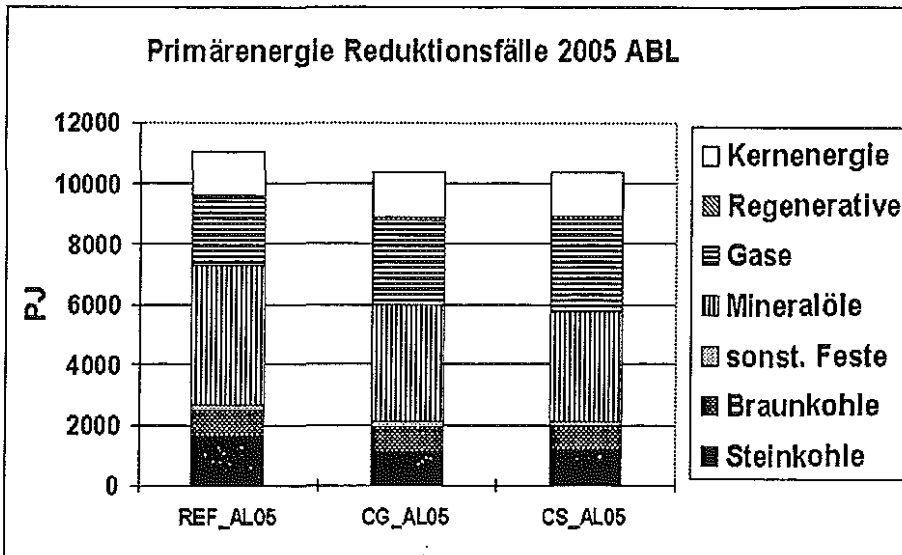
Tabelle 121

**Primärenergieverbrauch in den alten Bundesländern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CG_AL05	CS_AL05	CS_AL05
	Primärenergie- verbrauch in PJ		Änderungen gegenüber REF_AL05 in PJ	Primär- energie- verbrauch in PJ	Änderungen gegenüber REF_AL05 in PJ
Steinkohle	1619	1133	-486	1167	-452
Braunkohle	871	819	-52	819	-52
Öl	4628	3866	-762	3590	-1038
Gase	2237	2813	576	3080	843
Regenerative	91	96	5	95	4
Kernenergie	1475	1475	0	1475	0
Sonstige	141	155	14	155	14
Summe	11062	10357	-705	10381	-681

Abbildung 17

**Struktur des Primärenergieverbrauchs in den alten Bundesländern  
nach Energieträgern im Jahre 2005 in den Szenarien**



Die kohlenstoffreichen Energieträger Steinkohle, Braunkohle und Öl tragen überproportional zum Rückgang des Primärenergieverbrauchs in den beiden Reduktionsfällen bei (18 % bzw. 22 %), während der Einsatz von Erdgas deutlich zunimmt (26 % bzw. 38 %). Der Rückgang an Steinkohle ist zu zwei Dritteln auf eine Reduktion der Steinkohleverstromung zurückzuführen.

Der verminderte Einsatz an Öl und Ölprodukten resultiert aus einer Umstellung von Öl auf Gas im Haushaltssektor sowie aus Sparmaßnahmen und Änderungen im modal-split im Verkehrssektor. Der Einsatz des Energieträgers Erdgas steigt deutlich in den Sektoren Stromerzeugung und Haushalte.

Der Endenergieverbrauch insgesamt nimmt ebenfalls ab, und zwar um 6,5 bis 7 %. Zusätzlich wird Heizöl durch Gas ersetzt. (Tabelle 122 und Abbildung 18).



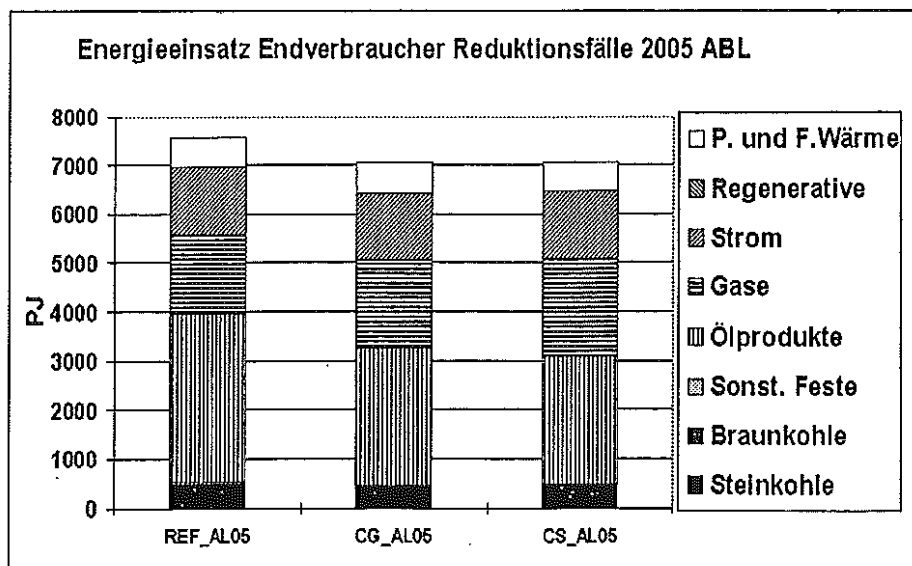
Tabelle 122

**Endenergieverbrauch in den alten Bundesländern nach Energieträgern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CG_AL05	CS_AL05	CS_AL05
	Endenergie- verbrauch in PJ		Änderungen gegenüber REF_AL05 in PJ	Endenergie- verbrauch in PJ	Änderungen gegenüber REF_AL05 in PJ
Steinkohle	476	418	-58	449	-27
Braunkohle	40	34	-6	34	-6
Öl	3442	2803	-639	2601	-841
Gase	1608	1813	205	1997	389
Strom	1378	1364	-14	1387	9
Fernwärme	276	289	13	278	2
Sonstige	1	1	0	1	0
Industrie (Prozeßwärme)	342	325	-17	321	-21
Summe	7563	7047	-516	7068	-495

Abbildung 18

**Struktur des Endenergieverbrauchs in den alten Bundesländern  
nach Energieträgern im Jahre 2005 in den Szenarien**



Die sektoralen Änderungen zeigen Tabelle 123 und Abbildung 19.

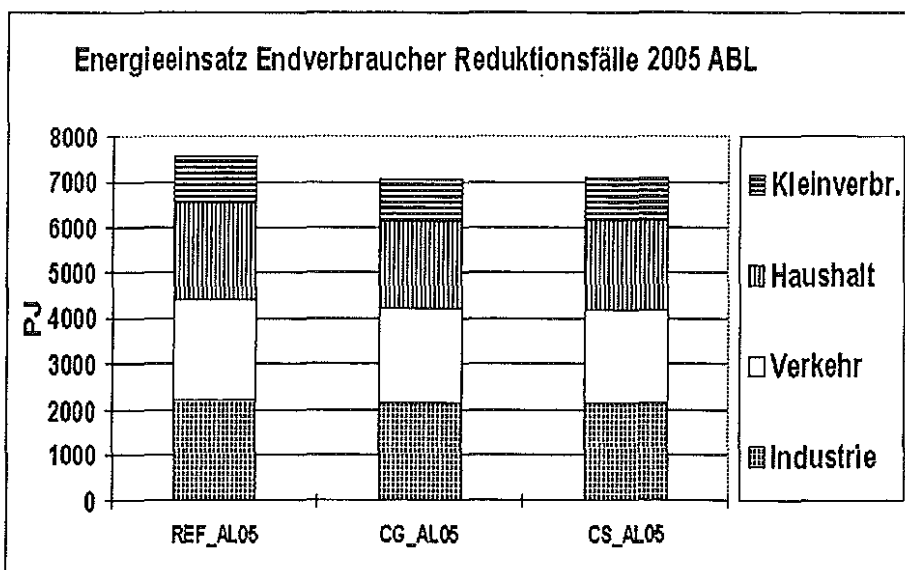
Tabelle 123

**Endenergieverbrauch in den alten Bundesländern nach Sektoren  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CG_AL05	CS_AL05	CS_AL05
	Endenergie- verbrauch in PJ		Änderungen gegenüber REF_AL05 in PJ	Endenergie- verbrauch in PJ	Änderungen gegenüber REF_AL05 in PJ
Haushalt	2125	1926	-199	1978	-147
Kleinverbraucher.	1024	908	-116	914	-110
Verkehr	2197	2065	-132	2034	-163
Industrie	2217	2148	-69	2143	-74
Summe	7563	7047	-516	7068	-495

Abbildung 19

**Struktur des Endenergieverbrauchs in den alten Bundesländern  
nach Sektoren im Jahre 2005 in den Szenarien**



Die Minderung des Endenergiebedarfs ist im Sektor Kleinverbraucher am größten (etwa -11 %), während sie in den Sektoren Haushalt (-9 % bzw. -7 %) und Verkehr (-6 %

bzw. -7 %) kleiner ausfällt. Das Einsparpotential in der Industrie ist relativ gering, da schon im Referenzfall erhebliche Strukturveränderungen stattgefunden haben.

Die Veränderung der Energieintensität (das Verhältnis von Endenergie zu Nachfrage) ist in Tabelle 124 dargestellt. Die Intensität für das Jahr 1989 ist auf eins normiert. Die Zahlen sind wie folgt zu interpretieren: Der Wert z.B. für den Haushaltssektor im Jahre 2005 im Referenzfall (0,87) liegt um 13 % unter dem Wert im Jahre 1989, d.h. der Endenergieverbrauch pro Quadratmeter Wohnfläche ist 2005 um 13 % niedriger als 1989.

Tabelle 124

**Veränderungen der sektoralen Energieintensitäten  
in den alten Bundesländern von 1989 bis 2005 in den Szenarien**

	1989	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	(Normiert)	Energieintensität im Jahre 2005		
Kleinverbraucher	1,00	0,82	0,72	0,73
Haushalte	1,00	0,87	0,79	0,81
Personenverkehr	1,00	0,90	0,88	0,86
Güterverkehr	1,00	0,93	0,78	0,78
Industrie	1,00	0,72	0,70	0,70

Schon im Referenzfall 2005 vermindern sich die Intensitäten um 7 % (Güterverkehr) bis 28 % (Industrie). Die Rückgänge sind jedoch nicht ausschließlich mit Effizienzverbesserungen sowie Einsparungen zu erklären. So ist die Abnahme des Wertes für die Industrie zu einem großen Anteil auf Strukturänderungen zurückzuführen. In den Reduktionsfällen ist eine weitere Reduktion der relativen Intensitäten zu verzeichnen, insbesondere in den Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher und Güterverkehr. Im Fall CS\_AL05 sinkt der Energiebedarf pro Personenkilometer bis 2005 um rund 14 % im Vergleich zu 1989.

Die entsprechenden auf 1989 normierten CO<sub>2</sub>-Intensitäten als Verhältnis der CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Nachfrage liegen zum Teil niedriger als die Energieintensitäten, was mit Energieträgerwechseln - z.B. von Heizöl auf Gas oder von Benzin/Diesel auf Rapsöl und Bioethanol - zu erklären ist (vgl. Tabelle 125 und Abbildung 20).

Tabelle 125

**Veränderungen der sektoralen CO<sub>2</sub>-Intensitäten  
in den alten Bundesländern von 1989 bis 2005 in den Szenarien**

	1989	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	(Normiert)	CO <sub>2</sub> -Intensität im Jahre 2005		
Kleinverbraucher	1,00	0,78	0,61	0,63
Haushalte	1,00	0,88	0,72	0,75
Personenverkehr	1,00	0,90	0,88	0,82
Güterverkehr	1,00	0,95	0,78	0,76
Industrie	1,00	0,60	0,59	0,59

*Sektorale Veränderungen im Detail für die alten Bundesländer*

Wie im Kapitel 5.1 werden nachfolgend für einige Sektoren die wichtigsten Veränderungen in den Reduktionsfällen im Vergleich zum Referenzfall 2005 für einige Sektoren beschrieben. Der Vergleich mit dem Referenzfall ist wichtig, weil er aufzeigt, welcher Aufwand zusätzlich aufzubringen ist, damit das Reduktionsziel erreicht wird.

- Primärenergie

Im Primärenergiesektor werden aufgrund von Einsparmaßnahmen in den Reduktionsfällen weniger Primärenergieträger als im Referenzfall nachgefragt. Daraus resultieren die in Tabelle 118 gezeigten Kosteneinsparungen. Da die inländische Kohle an der unteren Fördergrenze liegt, ist die Einsparung mit einer Abnahme der Importe verbunden (Tabelle 126).

Tabelle 126

**Änderungen der Importe in den Reduktionsfällen Vergleich zum Referenzfall**

	CG_AL05		CS_AL05	
	Energie	Kosten	Energie	Kosten
	PJ	Mrd. DM	PJ	Mrd. DM
Ölprodukte	-760	-4,6	-1090	-6,9
Importkohle	-485	-1,8	-450	-1,6
Erdgas	665	3,2	670	3,8
LPG/Rapsöl/Bioethanol	0	0	230	3
Summe	-680	-3,2	-640	-1,7

Die Einsparung bei der Einfuhr von Ölprodukten und Importkohle überwiegt die Kosten eines zusätzlichen Erdgasimports. Im Fall CS\_AL05 entstehen zusätzliche Kosten vor allem beim Import von LPG, Rapsöl und Ethanol, so daß netto die Kostenersparnis geringer ausfällt als beim Fall CG\_AL05.

- Stromsektor

Im Vergleich zum Referenzfall werden innerhalb des Zeitraumes von 1989 bis 2005 zusätzliche Gas-GuD-Kraftwerke gebaut (vgl. Kapitel IV.6.3):

Im Fall REF_AL05	1,6 GW Erdgas-GuD
Im Fall CG_AL05	5,0 GW Erdgas-GuD
Im Fall CS_AL05	3,8 GW Erdgas-GuD

Die anderen Kapazitäten bleiben in allen Fällen gleich bis auf eine kleine Zunahme der Wasserkraftwerke (ca. 200 MW) in den Restriktionsfällen. Allerdings ändern sich die Zusammensetzung der Stromerzeugung sowie die mittlere Auslastung der Kraftwerke. Tabelle 127 zeigt die wichtigsten Änderungen bei der Stromerzeugungsanlagen in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Referenzfall.

Tabelle 127

**Änderungen in der Stromerzeugung und in der Auslastung.**

	REF_AL05		CG_AL05		CS_AL05	
	Strom- erzeugung in PJ	Auslastung in %	Änderung der Strom- erzeugung in PJ	Auslastung in %	Änderung der Strom- erzeugung in PJ	Auslastung in %
Steinkohle-KW	301	60	-113	37	-113	37
Erdgas-KW	108	32	104	48	136	60
Alle Kraftwerke <sup>1)</sup>	1489		-10		8	

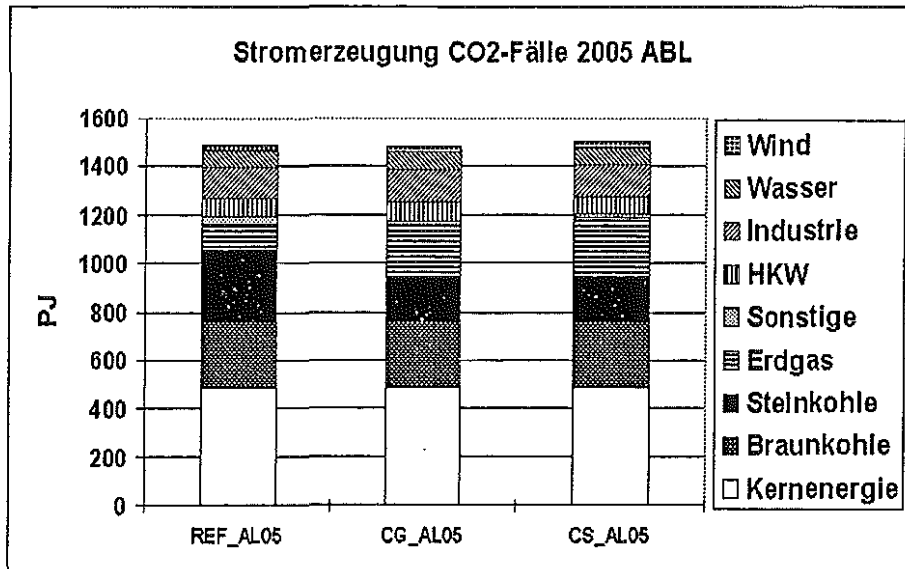
<sup>1)</sup> Einschließlich Industriekraftwerke

Die Stromerzeugung bleibt insgesamt praktisch unverändert, doch werden Steinkohlekraftwerke in den Reduktionsszenarien durch Gaskraftwerke substituiert. Dabei sinkt die Auslastung der Steinkohlekraftwerke (es erfolgt kein Zubau) von 60 % im Referenzfall auf 37 % in den Reduktionsfällen, während die Auslastung der Gaskraftwerke von 32 % auf 48 % und 60 % zunimmt.

Der Abbildung 20 ist die Struktur der Stromerzeugung in den einzelnen Szenarien im Jahre 2005 in den alten Bundesländern zu entnehmen.

Abbildung 20

**Struktur der Stromerzeugung in den Szenarien  
in den alten Bundesländern im Jahre 2005**



Im Ergebnis kommt es zu den in Tabelle 128 ausgewiesenen Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kosten in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Referenzfall.

Tabelle 128

**CO<sub>2</sub>-Minderung und Mehrkosten im Stromsektor in den Reduktionsszenarien in  
den alten Bundesländern im Jahre 2005 nach Kraftwerkstypen**

	CGAL_05		CS_AL05	
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t	Mehrkosten gegenüber Referenzfall in Mill. DM/a	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t	Mehrkosten gegenüber Referenzfall in Mill. DM/a
Steinkohlekraftwerk	-28	-79	-28	-79
Erdgaskraftwerk	11	559	16	383
Wasserkraftwerk	0	108	0	96
sonstige <sup>1)</sup>	0	-48	0	134
Summe	-17	540	-12	534

<sup>1)</sup> Sonstige Kraftwerke, Pumpspeicher und Stromnetze

- Wärmesektor

Die Ergebnisse für den Fernwärmebereich unterscheiden sich zwischen den Szenarien kaum. Bei der Fernwärmeerzeugung werden aber Steinkohle und Braunkohle (sowie kleine Mengen Öl) durch Erdgas sowie Müll (HKW), Biogas (nur CG\_AL05) und feste Biomasse ersetzt. Im Szenario CG\_AL05 werden etwa 11 PJ an Nahwärme aus Bio- und Deponiegas erzeugt und an die Haushalte verteilt. Diese Veränderungen führen zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 12 Mill. t bzw. 11 Mill. t, und die Mehrkosten liegen bei rund 200 Mill. DM (CG\_AL05) und 150 Mill. DM (CS\_AL05).

- Industrie

Der Energiebedarf der Industrie geht in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Referenzfall um rund 3 % zurück. Im wesentlichen ist dies auf eine effizientere Nutzung von Prozeßwärme und -dampf bei den industriellen Verfahren zurückzuführen. In der Industrie wird zusätzlich Öl durch Gas substituiert (Tabelle 129).

Tabelle 129

**Veränderungen innerhalb des Industriesektor in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Referenzszenario im Jahre 2005 in den alten Bundesländern**

	CG_AL05	CS_AL05
Öl für Prozeßwärme (PJ)	-54	-28
Gas für Prozeßwärme (PJ)	38	10
Prozeßwärmebedarf (PJ)	-18	-22
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Mill. t)	-3,7	-4,5

Die Minderemissionen resultieren zu 60 % aus Veränderungen bei der Prozeßwärmeerzeugung und zu 40 % aus Effizienzverbesserungen der anschließenden Verfahren (Industrieprozesse). Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten liegen mit rund 400 DM/t sehr hoch. Dabei ist ein Teil der Kosten auf Maßnahmen zur Stromeinsparung (Netzbezug) zurückzuführen. Dieser Teil der Mehrkosten führt aber nicht zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion bei der Industrie, sondern im Stromsektor. Dies ist stellvertretend ein Beispiel für die Auswirkungen der Vernetzung im Optimierungsmodell. Ohne die Kosten für die Maßnahmen zur Stromeinsparung ergeben sich CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten von rund 160 DM/a.

- Kleinverbraucher

Im Vergleich zum Referenzszenario fällt der Endenergieverbrauch bei den Kleinverbrauchern in den alten Bundesländern im Jahre 2005 in den beiden Reduktionsszenarien jeweils um rund 10 % niedriger aus. Diese Abnahme ist zum Teil auf Einsparmaßnahmen im Bereich Raumwärme und Warmwasser (-4 %) sowie Prozeßwärme (-9 %) zurückzuführen. Insgesamt sinkt der Bedarf an Wärme um rund 5 %. Der Endenergiebedarf nimmt darüber hinaus noch ab, weil das Modell Wärmepumpen mit einer hohen Leistungszahl einsetzt. Die Wärmepumpen decken etwa 11 % der Wärmeerzeugung ab. Tabelle 130 zeigt die Veränderungen der Energieträgerstruktur. Alle Energieträger nehmen ab, bis auf den Strom, der für die Wärmepumpen benötigt wird.

Tabelle 130

**Endenergieverbrauch der Kleinverbraucher in den alten Bundesländern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	Energieverbrauch in PJ	Änderung des Energieverbrauchs gegenüber dem Referenzszenario in PJ	
Steinkohle	40	-24	-24
Braunkohle	5	-5	-5
Öl	221	-50	-50
Gase	377	-44	-33
Strom	52	16	16
Sonstige <sup>1)</sup>	67	-9	-14
Summe für Wärmeerzeugung	762	-116	-110
Strom für Licht,Kommunik.,Kraft	236	0	0
Kraftstoff für Fahrzeuge	26	0	0
Endenergieverbrauch insgesamt	1024	-116	-110

<sup>1)</sup> LPG und Fernwärme

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen im Szenario CG\_AL05 um 9,7 Mill. t oder 22 % und im Szenario CS\_AL05 um 9,4 Mill. t oder 21 % zurück. Die jährlichen Mehrkosten liegen bei 1,0 Mrd. DM (CG\_AL05) oder 0,9 Mrd. DM (CS\_AL05). Dazu tragen die Energieeinsparmaßnahmen mit zwei Drittel (CG\_AL05) oder drei Viertel (CS\_AL05) bei. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten sind mit durchschnittlich rund 100 DM/t für den Kleinverbrauchersektor relativ niedrig.



- Haushalte

Die Zusammensetzung und die Veränderungen der Endenergieträger im Haushaltssektor der alten Bundesländer ist in Tabelle 131 und Abbildung 21 dargestellt.

Tabelle 131

**Endenergieverbrauch im Haushaltssektor in den alten Bundesländern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	Energieverbrauch in PJ	Änderung des Energieverbrauchs gegenüber dem Referenzszenario in PJ	
Steinkohle	103	-31	0
Heizöl	911	-446	-445
Erdgas	687	300	289
Biogas	27	-27	0
Strom	343	-10	-5
Fern- u. Nahwärme	49	13	14
LPG	5	0	0
Endenergie	2125	-201	-147

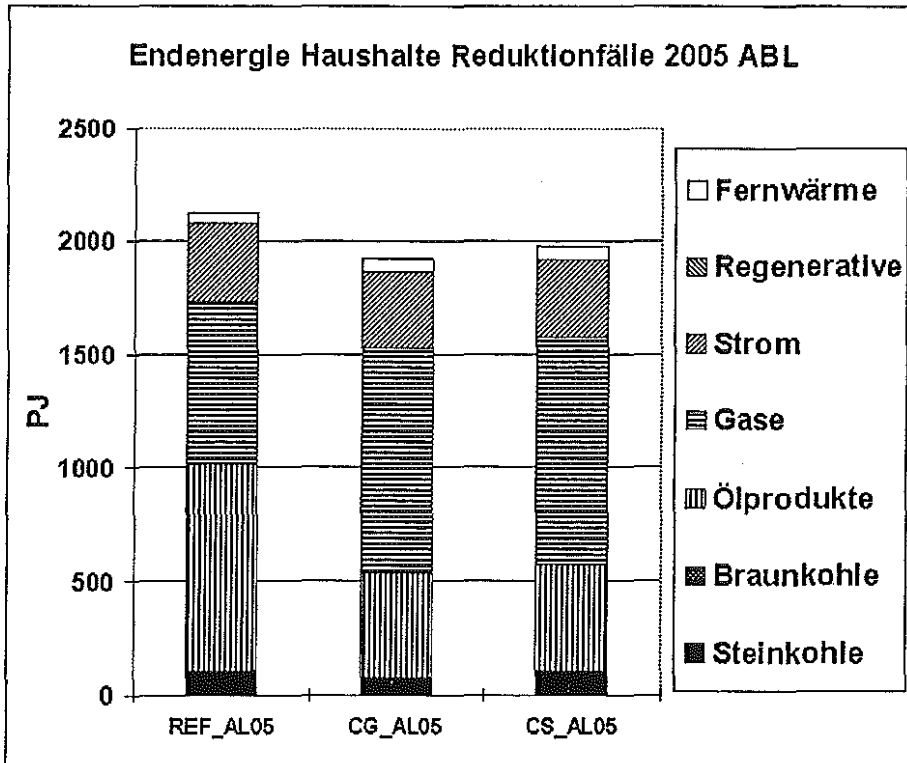
Aufgrund einer Abnahme des Raumwärmebedarfs geht der Endenergieverbrauch in den um 9 % (CG\_AL05) bzw. um 7 % (CS\_AL05) zurück. Dabei werden vom Modell zusätzliche Maßnahmen zur Wärmedämmung gewählt, und zwar hauptsächlich bei den vor 1989 gebauten Häusern im Rahmen des Renovierungszyklus. Die durchschnittliche Reduktion des Raumwärmebedarfs beträgt 8 %.

Im Altbau wie im Neubau werden im Vergleich zum Referenzfall Gasheizungen statt Ölheizungen neu installiert. Strukturell gewinnt daher Erdgas an Bedeutung, während diejenige des Heizöls sinkt. Es werden darüber hinaus bei der Gasheizung im Fall CG\_AL05 überwiegend Brennwertkessel genommen. Im Fall CS\_AL05 ist der Trend zum Brennwertkessel nicht so ausgeprägt, da wegen der CO<sub>2</sub>-Restriktion im Verkehrssektor der Haushaltssektor entlastet wird.

Die Maßnahmen zur Wärmedämmung sowie die Substitution von Kohle und Heizöl durch Gas bringen eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 21 Mill. t im Szenario CG\_AL05 und von 18 Mill. t im Szenario CS\_AL05.

Abbildung 21

**Struktur des Energieverbrauchs der Haushalte in den Szenarien  
im Jahre 2005 in den alten Bundesländern**



Die Mehrkosten betragen 2,9 Mrd. DM/a (CG\_AL05) und 1,6 Mrd. DM/a (CS\_AL05). Diese Kosten setzen sich zusammen aus einer Kostenentlastung bei der Wärmeerzeugung (-0,2 Mrd. DM bzw. -1,2 Mrd. DM) und Zusatzkosten für die Wärmedämmung (+3,0 Mrd. DM bzw. 2,8 Mrd. DM). Hieraus ergeben sich in den Reduktionsszenarien spezifische CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten von 135 DM/t (CG\_AL05) oder 90 DM/t (CS\_AL05).

- Verkehrssektor

Im Vergleich zum Referenzfall wird der Endenergieverbrauch im Verkehr in den alten Bundesländern im Jahre 2005 bei den Reduktionsszenarien um 6 % (CG\_AL04) und 7,4 % (CS\_AL05) reduziert. Es findet darüber hinaus eine Verschiebung der Energieträger-

struktur statt: Der Bedarf an Benzin und zum Teil Diesel nimmt ab, während Strom, LPG, Rapsöl und Bioethanol zunehmen (Tabelle 132).

Tabelle 132

**Endenergieverbrauch im Verkehrssektor in den alten Bundesländern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05		CG_AL05		CS_AL05	
	Energieverbrauch im		Änderungen gegenüber Referenzfall im			
	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Personen- verkehr	Güter- verkehr
Energieverbrauch in PJ						
Benzin	1168	48	-30	0	-309	0
Diesel	311	584	-4	-109	44	-123
Kerosin	34	3	0	0	-1	0
LPG	6	0	1	0	169	0
Rapsöl	0	0	4	0	7	14
Bioethanol	0	0	0	0	30	0
Strom	33	10	0	6	0	6
Summe	1552	645	-29	-103	-60	-103

Die prozentuale Minderung des Endenergiebedarfs ist im Güterverkehr 16 % (sowohl im Fall CG\_AL05 als auch im Fall CS\_AL05) sehr viel höher als im Personenverkehr (-2 % für CG\_AL05 und -4 % für CS\_AL05). Im Unterschied zum Fall CG\_AL05 wird im Fall CS\_AL05 im Personenverkehr mehr Diesel (14 %), aber sehr viel weniger Benzin (-26 %) eingesetzt. Im Güterverkehr nimmt in beiden Reduktionsszenarien der Dieselmotorkraftstoffverbrauch deutlich ab (20 %), und es wird mehr Strom (60 %) eingesetzt.

LPG, Ethanol und Rapsöl werden im Fall CS\_AL05 für den Individualverkehr verstärkt genutzt. Ihr Anteil am Endenergieverbrauch des Personenverkehrs beträgt dann rund 14 %. In diesem Reduktionsszenario wird auch Rapsöl als Kraftstoff für Lkw verwendet (Anteil 2,5 %). In den Reduktionsfällen werden demnach im Güterverkehr Kraftstoffe eingespart, während im Personenverkehr zu Kraftstoffen mit geringeren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen gewechselt wird. Biokraftstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe werden im Verkehrssektor keine CO<sub>2</sub>-Emissionen angerechnet; das Aufkommen bzw. die Herstellung im Primärsektor aber enthält die dort entstandenen Emissionen.

Die unterschiedlichen Reaktionen im Personen- und Güterverkehr schlagen sich auch in den strukturellen Änderungen der Verkehrsleistung nieder (vgl. Tabellen 133 und 134).

Tabelle 133

**Personenverkehrsleistung in den alten Bundesländern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	Verkehrsleistung in Mrd. Pkm	Änderungen der Verkehrsleistung gegenüber Referenzfall in Mrd. Pkm	
Bus konventionell	53	-8	-44
Bus Spar	0	19	49
Bus LPG	4	3	0
Bus Biokraftstoffe <sup>1)</sup>	0	4	13
Bahn	53	0	0
Sonstige	5	0	0
Öffentlich	115	18	18
Pkw Benzin konv.	581	-18	-152
Pkw Diesel konv.	149	0	0
Pkw Diesel Spar	0	0	37
Pkw LPG	0	0	84
Pkw Biokraftstoffe <sup>1)</sup>	0	0	13
Sonstige	5	0	0
Individual	735	-18	-18
Summe	850	0	0

<sup>1)</sup> Rapsöl und oder Bioethanol

Tabelle 134

**Güterverkehrsleistung in den alten Bundesländern  
im Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	Verkehrsleistung in Mrd. tkm	Änderungen der Verkehrsleistung gegenüber Referenzfall in Mrd. tkm	
Lkw konventionell	261	-160	-160
Lkw Spar	0	120	110
Lkw Biokraftstoffe <sup>1)</sup>	0	0	10
Straße (gesamt)	261	-40	-40
Schiene	70	40	40
Wasser	84	0	0
Summe	415	0	0

<sup>1)</sup> Rapsöl und oder Bioethanol

Im Personenverkehr ändert sich der modale split leicht, d.h. die Aufteilung zwischen öffentlichem Verkehr und Individualverkehr verschiebt sich zugunsten des öffentlichen Verkehrs (höherer Busanteil). Die Aufteilung im modalen split hängt allerdings u.a. von den Besetzungszahlen der öffentlichen Verkehrsmittel ab, deren angenommene Höhe im Modell eine Rolle spielen. Im Vergleich zum Referenzfall werden etwa 26 % der Fahrleistung von Benzin-Pkw durch Diesel-Spar-Pkw, LPG- und Bioethanol-Pkw ersetzt.

Im Güterverkehr kommt es zwischen den Reduktionsszenarien und dem Referenzfall zu Änderungen im Fernverkehr. Es werden weniger Güter per Lkw transportiert, wodurch der Bahntransport um 60 % zunimmt. Etwa 45 % der normalen Lkw werden durch Sparvarianten ersetzt. Ein geringer Anteil (ca. 6 %) der Lkw im Fall CS\_AL05 wird mit Rapsöl betrieben. Die Auswirkungen dieser Veränderungen auf CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kosten gibt Tabelle 135 wieder.

Tabelle 135

**Änderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der jährlichen Kosten  
im Verkehrssektor in den alten Bundesländern im Jahre 2005  
in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Referenzfall**

	CG_AL05		CS_AL05	
	Änderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen gegenüber Referenzfall in Mill. t	Änderungen der Kosten gegenüber Referenzfall in Mrd. DM/a	Änderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen gegenüber Referenzfall in Mill. t	Änderungen der Kosten gegenüber Referenzfall in Mrd. DM/a
PV, öffentlich	-0,2	5,1	-0,8	5,3
PV, Individual	-2,2	-4,8	-9,4	-0,6
PV, gesamt	-2,4	0,3	-10,2	4,7
GV, gesamt	-8,2	1,2	-9,2	1,2
Summe	-10,6	1,5	-19,4	5,9

PV = Personenverkehr; GV = Güterverkehr

Im Fall CG\_AL05 werden im Jahre 2005 in den alten Bundesländern 10,6 Mill. t CO<sub>2</sub> weniger als im Referenzfall emittiert. Die CO<sub>2</sub>-Minderung findet zu drei Vierteln im Güterverkehr statt. In diesem Bereich entsteht auch netto der Hauptanteil der Mehrkosten von insgesamt 1,5 Mrd. DM/a. Im Personenverkehr verschieben sich die Kosten vom Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr (Bus); während der Individualverkehr um

4,8 Mrd. DM/a entlastet wird, nehmen die Kosten für den öffentlichen Verkehr um 5,1 Mrd. DM/a zu. Per Saldo folgen daraus Mehrkosten von 0,3 Mrd. DM/a.

Im Fall CS\_AL05 müssen aufgrund der CO<sub>2</sub>-Restriktion im Verkehrssektor die CO<sub>2</sub>-Emissionen stärker reduziert werden. Die Reduktion gegenüber dem Referenzfall beträgt 19,4 Mill. t. In diesem Fall ist wegen des Einsatzes von Spar-, LPG- und Bioethanol-Pkw die CO<sub>2</sub>-Einsparung im Personen- und Güterverkehr etwa gleich groß. Die gesamten Mehrkosten liegen mit 5,9 Mrd. DM/a um einen Faktor vier höher als im Szenario CS\_AL05.

Hieraus ergeben sich durchschnittliche spezifische CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten von 145 DM/t im Fall CG\_AL05 und von 300 DM/t im Fall CS\_AL05. Die um einen Faktor zwei höheren spezifischen Reduktionskosten im Szenario CS\_AL05 zeigen, daß die Vorgabe einer gleichmäßigen sektoralen CO<sub>2</sub>-Einsparung mit erheblichen Zusatzkosten im Verkehrssektor verbunden ist. Die Mehrkosten im Verkehrssektor reagieren wegen der geringen Auslastung (und zum Teil Lebensdauer) der Fahrzeuge sehr sensitiv auf die sektorbezogene Vorgabe von Reduktionszielen.

### 5.3 Ermittlung der Prioritäten bei den Reduktionsmaßnahmen durch Veränderung der CO<sub>2</sub>-Restriktion

Die Reihenfolge (d.h. die Priorität), nach der die Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion vom Modell „gewählt“ werden, hängt von den Kosten der Maßnahmen und ihrem CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential ab. Da oft mehrere Maßnahmen in einem Bereich zusammen wirken, z.B. Energieträgerwechsel und Wärmedämmung im Haushaltssektor, kann die entsprechende CO<sub>2</sub>-Reduktion nicht immer eindeutig Einzelmaßnahmen zugeordnet werden. Es kann nur die CO<sub>2</sub>-Minderung für das gesamte Bündel von Maßnahmen in diesem Bereich angegeben werden. Es ist daher nicht möglich, für viele Bereiche an Hand *einer* optimalen Lösung eine nach den spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten geordnete Folge der Maßnahmen zu erstellen, um eine Prioritätenliste zu bekommen. Um dennoch eine zumindest nach Klassen aufgeteilte Rangfolge der Maßnahmen zu erhalten, werden Optimierungsrechnungen mit einer zunehmenden CO<sub>2</sub>-Restriktion, d.h. mit einer CO<sub>2</sub>-Obergrenze als Parameter, durchgeführt. Hierzu werden die in Tabelle 136 ausgewiesenen Klassen für die alten Bundesländer und für das Jahr 2005 gebildet.

Tabelle 136

#### Klasseneinteilung der Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern bis zum Jahre 2005

	CO <sub>2</sub> -Reduktion im Vergleich zu 1990	Grenzkosten <sup>1)</sup> der Minderung der CO <sub>2</sub> -Emissionen
Klasse I	bis 10%	39 DM/t
Klasse II	bis 15%	101 DM/t
Klasse III	bis 20%	309 DM/t
Klasse IV	bis 25%	613 DM/t

<sup>1)</sup> Kosten für die letzte Tonne CO<sub>2</sub>, die in der jeweiligen Klasse reduziert wird

Z. Vgl.: Die CO<sub>2</sub>-Minderung lag in dem oben skizzierten Referenzszenario bei 6 %. Im Reduktionsszenario CGAL\_05 betrug sie 17,8 % und ist zwischen den Klassen II und III einzuordnen. Die in Tabelle 136 vorgegebenen Reduktionsklassen gelten für die alten Bundesländer. Addiert man zu den Klassen III und IV die Emissionsminderung der Referenzentwicklung der neuen Bundesländer, sind die gesamtdeutschen Reduktionen mit 26,5 % bzw. 30,1 % deutlich höher als das 25 %-Ziel der Bundesregierung.

Die vom Modell gewählten Maßnahmen in den vier Klassen zeigt Tabelle 137.

Tabelle 137:

**Beispiele wichtiger technischer Reduktionsmaßnahmen  
nach Reduktionsintensität und Kostenklassen in den alten Bundesländern**

Klasse I (10 % Reduktion)	Klasse II (15 % Reduktion)	Klasse III (20 % Reduktion)	Klasse IV (25 % Reduktion)
<b>Elektrizitätserzeugung</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zubau von GuD-Kraftwerken</li> <li>* Zubau von Wasser-Kraftwerken (Hochspannung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Verstärkter Zubau von GuD-Anlagen</li> <li>* Maximal möglicher Zubau von Wasser-Kraftwerken (Hochsp.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Maximal möglicher Zubau von GuD-Anlagen</li> <li>* Maximal möglicher Zubau von BK-Kraftwerken mit integrierter Kohlevergasung</li> <li>* Zubau von Wasserkraftwerken (Mittelsp.)</li> <li>* Zubau von Windkraftwerken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Maximal möglicher Zubau von Wasser-Kraftwerken (Niedersp.)</li> <li>* Maximal möglicher Zubau von Windkraftwerken</li> </ul>
<b>Fern- und Nahwärme</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zubau von mülbeheizten Anlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Weiterer Zubau von mülbeheizten Anlagen</li> <li>* Zubau von Biomasseanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Starker Zubau von Biomasse- und Biogas-Anlagen</li> <li>* Ausbau des Nahwärmenetzes</li> <li>* Bau von Biogas-, Erdgas- und Deponiegas-Anlagen im Nahwärmebereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zubau von Biomasseanlagen</li> <li>* Starker Zubau von Biogasanlagen</li> <li>* Zubau von GuD-Anlagen</li> <li>* Zubau von mülbeheizten Anlagen</li> <li>* Weiterer Zubau von Erdgasturbinen im Nahwärmebereich</li> </ul>
<b>Industrie</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in den Branchen Zementherstellung, Roheisenherstellung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in der Branche Steine/Erden (gesamt)</li> <li>* Verstärkter Einsatz effizienter Prozeßtechniken (Roheisenherstellung)</li> <li>* Einsparung bei Kommunikation und Licht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in der Chemiebranche</li> <li>* Verstärkte Einsparung im Bereich Kommunikation und Licht</li> <li>* Einsparung im Bereich Kraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz effizienter Prozeßtechniken in fast allen Branchen</li> <li>* Verstärkter Einsatz von Sparmaßnahmen im Bereich Kraft</li> </ul>
<b>Kleinverbrauch</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Wärmepumpen, Wärmedämmung Haushalte</li> <li>* Biomasse-Dampfkessel, Spar-Prozeßtechniken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Verstärkter Einsatz von Spar-Prozeßtechniken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Verstärkter Einsatz von Wärmepumpen zur Niedertemperaturerzeugung</li> <li>* Maximal möglicher Einsatz von Spar-Prozeß-Techniken in allen Untersektoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Spartechiken für Licht, Kraft, Kommunikation</li> <li>* Verstärkte Wärmedämmung im Raumwärmebereich</li> </ul>
<b>Verkehr</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zunahme des Gütertransports durch Bahn und Schiff</li> <li>* Bioethanol-Lkw und Diesel-Sparbusse</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Diesel-Spar-Lkw</li> <li>* Verstärkter Einsatz von Bioethanol-Lkw</li> <li>* Einsatz von Rapsöl- und LPG-Bussen</li> <li>* Einsatz von LPG-Pkw</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz von Diesel-Spar-Pkw</li> <li>* Ethanol- und Rapsöl-Pkw</li> <li>* Einsatz von Diesel-Spar-Bussen</li> <li>* Einsatz von Bioethanol-Bussen</li> <li>* Verstärkter Einsatz von LPG-Pkw</li> </ul>
<b>Haushalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Wärmedämmung innerhalb vom Renovierungszyklus. Einsparung 2,3 % in EFH und MFH</li> <li>* Erdgas-Brennwertkessel substituiert einen Teil der Heizkessel in MFH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Erdgaskessel substituieren einen Teil der Heizkessel in EFH</li> <li>* Weitere Wärmedämmung im Altbau innerhalb von Renovierungszyklus. Einsparung insgesamt um 4,7 % in EFH-Altbau und um 7,0 % in MFH-Altbau</li> <li>* Wärmedämmung in EFH-Neubau. Einsparung insgesamt 13,3 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Einsatz Erdgas-Brennwertkessel in EFH</li> <li>* Wegfall der Einzelheizung mit Kohle und Heizöl in MFH-Altbau</li> <li>* Bezug von Nahwärme in MFH</li> <li>* Weitere Wärmedämmung in EFH-Altbau. Einsparung insgesamt 7,0 %</li> <li>* Wärmedämmung in MFH-Neubau. Einsparung insgesamt 15,1 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Wegfall Heizöl-Einzelheizung in EFH-Altbau</li> <li>* Starke Wärmedämmung innerhalb von Renovierungszyklus. Einsparung von insgesamt 18,7 % im Altbau</li> <li>* Starke Wärmedämmung im Neubau. Einsparung insgesamt um 66,6 % in EFH / 75,2 % in MFH</li> </ul>

Die Angaben sind differentiell zu verstehen, d.h. die Maßnahmen in einer Klasse werden nur als Additiv zu den Maßnahmen in der darunterliegenden Klasse angegeben. Die



Maßnahmen in der Klasse I sind Änderungen im Vergleich zum Referenzfall, die Maßnahmen in Klasse II sind Änderungen im Vergleich zur Klasse I u.s.w. Die Änderung z.B. in der Klasse IV in Bezug auf den Referenzfall ist daher die Kumulation der Änderungen (oder Maßnahmen) aus den Klassen I bis IV. Wegen der veränderten Nachfrage ist eine entsprechende Auflistung der autonomen Maßnahmen zwischen 1990 (bzw. IKARUS-Basisjahr 1989) und 2005 (Referenzfall) nicht möglich.

Das im Kapitel IV.5.2 vorgestellte Szenario CG\_AL05 mit einer 18 %igen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern bis zum Jahre 2005 (entsprechend einer CO<sub>2</sub>-Minderung von 25% für die gesamte Bundesrepublik) liegt in der Klasse III. Es sei hier nur darauf hingewiesen, daß die in Tabelle 137 aufgeführte Rangfolge von Maßnahmen modellbedingt keine Aussagen über deren (politische) Umsetzbarkeit beinhaltet.

Tabelle 138 zeigt die CO<sub>2</sub>-Minderungen, die sich aus den Maßnahmen in den vier Klassen ergeben, aufgeteilt nach Sektoren.

Tabelle 138:

**Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Minderung in den alten Bundesländern  
nach Reduktionsklassen im Jahre 2005 (in Mill t)**

Sektoren	Klasse I (10 % Reduktion)	Klasse II (15 % Reduktion)	Klasse III (20 % Reduktion)	Klasse IV (25 % Reduktion)
Stromsektor	6,2	6,4	10,5	6,2
Wärmesektor	0,7	10,3	4,8	-0,5
sonstige Umwandlung <sup>1)</sup>	3,7	2,0	0,9	1,5
Summe Umwandlung	10,6	18,7	16,2	7,2
Industrie	0,9	0,4	2,9	0,3
Verkehr	8,8	0,0	2,7	7,9
Kleinverbraucher	2,0	4,8	3,7	0,4
Haushalt	3,6	11,5	9,9	19,6
Summe Endverbraucher	15,3	16,7	19,2	28,2
Alle Sektoren	25,9	35,4	35,4	35,4
Kumulative Wirkung <sup>2)</sup>	25,9	61,3	96,7	132,1
<sup>1)</sup> Raffinerien, Kohleveredelung und Gasverteilung. - <sup>2)</sup> Im Vergleich zum Referenzszenario, in dem gegenüber 1989 ca. 45 Mill. t CO <sub>2</sub> eingespart werden.				

Es werden in Analogie zur Tabelle 137 die differentiellen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeführt. Die CO<sub>2</sub>-Minderung in Klasse I ist die Differenz zwischen den CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzfall und in der Klasse I, die CO<sub>2</sub>-Minderung in der Klasse II ist die Differenz zwi-

schen den CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Klasse I und in der Klasse II u.s.w. Die Werte in der Tabelle 138 stellen die Emissionsreduktion aufgrund der Maßnahmen in Tabelle 137 dar.

Von den Maßnahmen in der Klasse I bewirken die Maßnahmen im Stromsektor und im Verkehrssektor die größte CO<sub>2</sub>-Einsparung. Die Maßnahmen im Umwandlungsbereich tragen zu etwa zwei Fünftel und die Maßnahmen im Endverbraucherbereich zu drei Fünftel zur gesamten Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei.

In Klasse II zeigen die Maßnahmen im Strom- und Wärmesektor sowie im Haushaltssektor den größten CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekt. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Umwandlungsbereich und im Endverbraucherbereich sind etwa gleich groß.

Die quantitative Wirkung der Maßnahmen in Klasse III ist, bis auf die Aufteilung zwischen Strom- und Wärmesektor, ähnlich wie in Klasse II. Der Industriesektor übernimmt hier einen höheren Anteil als in den anderen Klassen. In Klasse IV tragen die Maßnahmen im Endverbraucherbereich zu vier Fünftel zur gesamten CO<sub>2</sub>-Reduktion bei. Besonders ausgeprägt ist dabei die CO<sub>2</sub>-Einsparung aufgrund der Maßnahmen im Haushaltssektor. In dieser Klasse liefern aber auch die Maßnahmen im Verkehrssektor und im Stromsektor einen wichtigen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Minderung.

In Tabelle 139 sind die Kosten der Maßnahmen in den vier Klassen sowie die entsprechenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten und CO<sub>2</sub>-Grenzkosten zusammengefaßt. Die jährlichen Mehrkosten sind differentiell zu verstehen, d.h. Mehrkosten in einer Klasse werden als Additiv zu den Mehrkosten in der darunterliegenden Klasse angegeben.

Tabelle 139

**Mehrkosten der Maßnahmen (gegenüber Referenzfall) zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern**

	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV
Kosten der Maßnahmen in Mrd. DM/a	0,5	1,9	7,3	16,7
Spez. CO <sub>2</sub> -Minderungskosten in DM/t	17	55	205	472
CO <sub>2</sub> -Grenzkosten in DM/t	39	101	309	613

Die Kosten der Maßnahmen steigen mit den Klassen stark. Die mittleren spezifischen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten in Klasse IV liegen um den Faktor 28 höher als die in Klasse I.

## 6 Identifizierung von Handlungsfeldern für die CO<sub>2</sub>-Reduktion

### 6.1 Vorbemerkungen

Im folgenden werden die Ergebnisse der Szenarien detaillierter vorgestellt und erläutert. Ausgehend von der Annahme, die vom Modell errechneten Ergebnisse in konkrete Klimaschutzmaßnahmen umsetzen zu wollen, werden die Anforderungen und Voraussetzungen in den jeweiligen Sektoren aufgezeigt und diskutiert. Den Modellergebnissen werden - soweit dies möglich ist - die meist unabhängig vom Optimierungsmodell quantifizierten Einzelmaßnahmen aus Teil II gegenübergestellt. Ein solcher Vergleich ist allerdings nur begrenzt möglich, da zwischen den Einzelmaßnahmen Abhängigkeiten bestehen, die bei der Quantifizierung nicht mit einbezogen wurden. Streng genommen können die quantifizierten Reduktionspotentiale der Einzelmaßnahmen nur isoliert voneinander bewertet werden, so daß die Angabe eines Gesamtpotentials als Summe mit einigen Unsicherheiten behaftet ist. Demgegenüber berücksichtigen die optimierten Modellergebnisse Rückkopplungseffekte, da das gesamte Energiesystem von der Primär- bis zur Nutzenergieseite als ein vernetztes System abgebildet ist. Gegenüber der modellexogenen Einzelmaßnahmenbewertung können die vom IKARUS-Modell errechneten Handlungsfelder und Maßnahmen nur im Kontext des gesamten Energiesystems und der vorgegebenen Randbedingungen (z.B. energiepolitische Restriktionen etc.) bewertet werden.

Insbesondere bei der Quantifizierung von zusätzlichen Einzelmaßnahmen für das „Mitweiteren-Maßnahmen-Szenario“ beruht eine Wirkungsabschätzung im Vergleich mit einer Referenzentwicklung, die im wesentlichen mit der Entwicklung identisch ist, die die Prognos AG vorausgeschätzt hat. Die Optimierungsergebnisse der IKARUS-Reduktionsszenarien werden dagegen mit den Ergebnissen des IKARUS-Referenzszenarios verglichen, die selbst Produkt einer Optimierungsrechnung sind. Eine gewisse Kompatibilität zwischen den Referenzentwicklungen von IKARUS und Prognos ist insofern gegeben, als die grundlegenden Rahmendaten in etwa übereinstimmen. Hingegen ist es sehr wahrscheinlich, daß Detailannahmen erheblich voneinander abweichen. Aus diesem Grund sowie durch das Arbeiten mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen dürfte ein Vergleich Unsicherheiten aufweisen.

Der Vergleich von Einzelmaßnahmen entsprechend Teil II und IKARUS-Modellergebnissen wird zusätzlich dadurch erschwert, daß sich die Quantifizierung der Wirkungen der Einzelmaßnahmen zum Teil auf Bereiche bezieht, wie die Erhöhung der Benzinpreise oder Geschwindigkeitsbegrenzungen, die sich nicht direkt auf die Technikebene des Optimierungsmodells projizieren lassen.

Gleichwohl setzen die Einzelmaßnahmen zum größten Teil genau in den Sektoren an, in denen auch das IKARUS-Modell CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale und Handlungsfelder identifiziert hat. Da aber in der Realität einzelwirtschaftliche Akteure nach individuellen Kriterien handeln, die im Sinne des IKARUS-Optimierungsmodells nicht immer volkswirtschaftlich optimal sind und da das Modell bestimmte Hemmnisse (z.B. das Investor-Mieter-Dilemma im Gebäudebereich) nicht kennt, wird sich eine als optimal errechnete Strategie niemals automatisch in der künftigen Energiewirtschaft durchsetzen.

Vielmehr muß diese mit Hilfe von Verordnungen, Preispolitik, finanziellen Anreizen oder sonstigen Fördermaßnahmen umgesetzt werden. In diesem Sinne kann ein großer Teil der in Teil II aufgeführten, modellexogen definierten Einzelmaßnahmen verstanden werden, so daß letztendlich der Ansatz der Einzelmaßnahmenanalyse und der integrierte Ansatz mit Hilfe des IKARUS-Modells ergänzend auf ein gemeinsames Ziel zusteuern.

## **6.2 Umwandlungssektor**

### **6.2.1 Stromerzeugung**

Die folgende Ergebnisdiskussion umfaßt die öffentliche Stromerzeugung (einschließlich Kraftwerke der Deutschen Bundesbahn) und ist auf die alten Bundesländer begrenzt.

Verglichen mit der Ausgangssituation steigt der endenergieseitige Stromverbrauch im Referenzfall (REF\_AL05) mit 3,4 % nur sehr moderat. Dieser Trend gilt auch für das globale (CG\_AL05) wie für das sektorale (CS\_AL05) Reduktionsszenario. Die vergleichbaren Zuwachsraten betragen 2,3 % bzw. 4 %. Zwischen der Referenzentwicklung und den Reduktionsszenarien gibt es somit kaum Unterschiede. Diese Entwicklung spiegelt sich in der Struktur der öffentlichen Stromerzeugung (Tabelle 140).

Tabelle 140

**Struktur der öffentliche Netto-Stromerzeugung in den Szenarien  
im Jahre 2005 in den alten Bundesländern**

	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
	Stromerzeugung in PJ (Erzeugungsanteile in %)		
Erzeugung insgesamt	1358 (100,0)	1343 (100,0)	1367 (100,0)
Kernenergie	487 (35,9)	487 (36,3)	487 (35,7)
Braunkohle	270 (19,9)	270 (20,1)	270 (19,7)
Steinkohle	301 (22,2)	188 (14,0)	188 (13,8)
Erdgas	108 (7,9)	212 (15,8)	244 (17,8)
Wasser	68 (5,0)	74 (5,5)	74 (5,4)
Wind	22 (1,6)	22 (1,6)	22 (1,6)
HKW	75 (5,5)	75 (5,6)	66 (4,8)
Sonstige	27 (2,0)	15 (1,1)	16 (1,2)

Entsprechend den vorgegebenen Restriktionen bleibt die Stromerzeugung aus Braunkohle- und Kernkraftwerken in etwa konstant. Die Stromproduktion aus Steinkohle liegt im Referenzfall deutlich über den Werten der Minderungsszenarien. Während im Referenzfall neben der inländischen Steinkohle auch Importkohle (rund 10 Mill. t) verstromt wird, wird in den Reduktionfällen die Steinkohleverstromung auf die dem Modell als untere Grenze vorgegebene Mindestverstromung inländischer Steinkohle zurückgefahren. Die Erdgasverstromung, die bereits im Referenzfall deutlich höher liegt als im Bezugsjahr, verdoppelt sich im Reduktionsszenario (CG\_AL05) und liegt im sektoralen Reduktionsszenario (CS\_AL05) bedingt durch einen etwas größeren Strombedarf noch höher.

#### *Kapazitäten, Auslastung*

Tabelle 141 enthält die nach Energieträgern unterschiedenen Stromerzeugungskapazitäten. Entsprechend dem Verlauf der Stromerzeugung nimmt die gesamte installierte Kapazität gegenüber 1989 im Szenario REF\_AL05 leicht ab und erreicht im Reduktionsszenario in etwa den Wert von 1989. Sowohl der Zubau als auch die Auslastung der jeweiligen Kraftwerkskapazitäten werden vom Optimierungsmodell unter Berücksichtigung der Lastgangliniencharakteristika berechnet. Gegenüber 1989 beträgt der altersbedingte Rückgang der installierten Kraftwerksleistung etwa 9,2 GW. Diesem Wert stehen

im Referenzfall und im Reduktionsszenario ein Neuzubau (Tabelle 142) von insgesamt 6,6 GW bzw. 10,2 GW gegenüber.

Tabelle 141:

**Installierte Netto-Leistung der öffentlichen Stromversorgung<sup>1)</sup>  
in den alten Bundesländern im Jahre 2005**

	REF_AL05	CG_AL05
	Installierte Nettoleistung in GW (Leistungsanteil in %)	
Netto-Leistung insgesamt	73,3 (100,0)	76,7 (100,0)
Kernenergie	21,1 (28,8)	21,1 (27,5)
Braunkohle	11 (15,0)	11 (14,2)
Öl (HEL/HS)	7,2 (9,8)	7,2 (9,4)
Erdgas	10,6 (14,5)	14 (18,2)
Steinkohle	15,9 (21,7)	15,9 (20,7)
Wasser	3,3 (4,5)	3,5 (4,6)
Wind	2,7 (3,7)	2,7 (3,5)
Andere	1,5 (2,0)	1,5 (1,9)

<sup>1)</sup> Ohne Kraft-Wärme-Kopplung.

Tabelle 142

**Zubau von Kraftwerkskapazitäten<sup>1)</sup> in den alten Bundesländern  
bis zum Jahre 2005 in den Szenarien**

	REF_AL05	CG_AL05
	Kapazität (netto) in MW	
Braunkohle	2 000	2 000
Erdgas	1 600	5 000
Wind	2 700	2 700
Wasser	300	520
Photovoltaik	22	22
Gesamt	6 622	10 242

<sup>1)</sup> Ohne Kraft-Wärme-Kopplung

Während dem Modell ein Zubau von Kernkraftwerkskapazitäten exogen „verboten“ wurde, kommt es modellseitig in allen Szenarien bis zum Jahre 2005 zu keinem weiteren Zubau von Steinkohlekraftwerken. Korrespondierend zu der jeweiligen Stromerzeugung

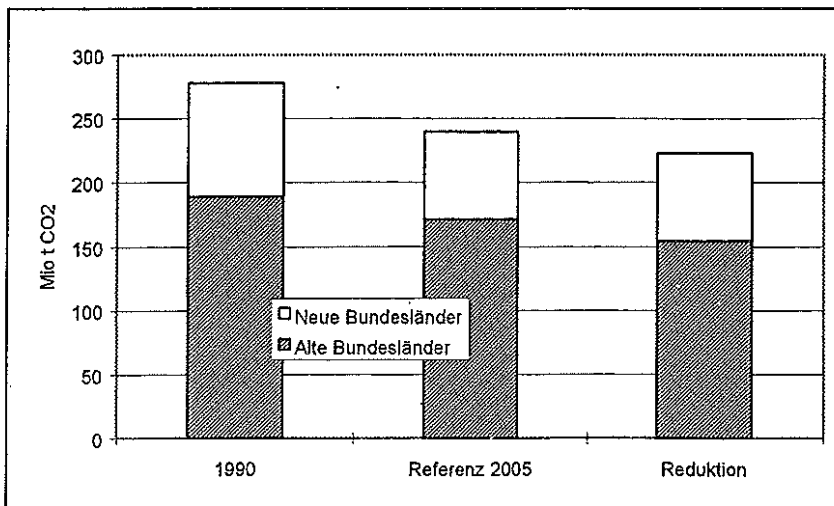
beträgt die durchschnittliche Auslastung der Steinkohlenkraftwerke (15,9 GW) etwa 5 260 Stunden/a (h/a); sie sinkt im Reduktionsfall auf einen Wert von rund 3 240 h/a. Signifikant ist der Zubau von Erdgas-GuD- Kapazitäten, der in den Reduktionsszenarien die obere Zubaugrenze von 5 GW erreicht. Bereits im Referenzfall beträgt die Auslastung der erdgasbefeuerten Kraftwerke 2 800 h/a; in den Reduktionsszenarien steigt sie auf rund 4 200 h/a (CG\_AL05) oder 5 260 h/a (CS\_AL05). Verglichen mit dem Basisjahr 1989 werden Erdgaskraftwerke im Mittellastbereich eingesetzt. Die Grundlaststromerzeugung beruht in allen Szenarien auch im Jahre 2005 auf Braunkohlen- und Kernkraftwerken, deren Auslastungen im Bereich von 6 800 h/a sowie 6 400 h/a liegen und gegenüber dem Ausgangsjahr leicht steigen.

### *CO<sub>2</sub>-Emissionen*

Abbildung 22 zeigt die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der öffentlichen Stromerzeugung. Gegenüber 1990 nehmen die gesamtdeutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzfall um 13,7 % (etwa 38 Mill. t) ab. Differenziert man nach alten und neuen Bundesländern betragen die entsprechenden Werte 9,3 % für die alten und 23 % für die neuen Bundesländer.

Abbildung 22

#### **CO<sub>2</sub>-Emissionen der öffentlichen Stromversorgung (ohne KWK)**



In der Selbstverpflichtungserklärung der in der VDEW zusammengeschlossenen öffentlichen Stromversorgungsunternehmen vom 27.3.1996 wird von einer gesamtdeutschen CO<sub>2</sub>-Minderung von 8 bis 10 % (23 bis 29 Mill. t) bis zum Jahr 2005 (gegenüber 1990) ausgegangen. Diese Minderungsangabe wird nicht weiter detailliert, zumal sie als Zwischenergebnis zu sehen ist, da sich das von VDEW gesteckte Minderungsziel auf das Jahr 2015 bezieht. Zwar liegt der vom Modell errechnete Wert über dem VDEW- Wert, doch muß berücksichtigt werden, daß die Unterscheidung zwischen öffentlicher und nicht-öffentlicher Stromerzeugung in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990 nur schwer abzuschätzen ist.

Im Reduktionsfall gehen die gesamtdeutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2005 gegenüber 1990 um knapp 20 % zurück. Da diese zusätzliche Reduktion vereinbarungsgemäß (globale CO<sub>2</sub>-Reduktion von 18 % in den alten Bundesländern) von der westdeutschen öffentlichen Stromversorgung aufzubringen ist, liegt der Rückgang in den alten Bundesländern mit 18,3 % fast doppelt so hoch wie im Referenzfall.

#### *Effizienz, Brennstoffsubstitution*

Inwieweit die CO<sub>2</sub>-Reduktion auf Effizienzverbesserung oder Brennstoffsubstitution zurückzuführen ist, zeigen die in Tabelle 143 enthaltenen Kennwerte. Aufgelistet sind die als Durchschnittswerte zu verstehenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerte, die - differenziert nach fossilen Kraftwerken sowie dem gesamten Kraftwerkspark - auf die elektrische Arbeit bezogen sind.

Tabelle 143

#### **Spezifische Kennzahlen der öffentlichen Stromerzeugung<sup>1)</sup> in den alten Bundesländern in den Jahren 1989 und 2005**

	1989	REF_AL05 (2005)	CG_AL05 (2005)
Fossil: (t CO <sub>2</sub> /MWh <sub>netto</sub> )	1,01	0,87	0,81
Gesamt: (t CO <sub>2</sub> /MWh <sub>netto</sub> )	0,54	0,48	0,44
Fossil: Nettonutzungsgrad (%)	35	36,6	38,3



Der spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionswert der fossil befeuerten Stromerzeugungsanlagen nimmt bereits im Referenzfall um fast 14 % ab. Dies ist eine Folge des verringerten Steinkohleinsatzes, der verstärkten Erdgasnutzung sowie durch den Einsatz effizienterer Kraftwerke. Im Reduktionsfall beträgt die Abnahme gegenüber dem Ausgangsjahr fast 20 %. Ein Vergleich mit dem analogen Wert des gesamten Kraftwerksparks verdeutlicht den Einfluß der nicht-fossilen Stromerzeugung (im wesentlichen Kernenergie und Wasser), der weitaus stärker ist als die Brennstoffsubstitution fossiler Energieträger untereinander (einschließlich der Effizienzverbesserung). Als Indikator einer Effizienzsteigerung ist in Tabelle 143 der mittlere Netto-Nutzungsgrad des fossilen Kraftwerksparks aufgeführt. Gegenüber der Ausgangssituation im Jahre 1989 beträgt der Effizienzgewinn etwa 1,6 Prozentpunkte (durch den Zubau von Braunkohle- und Erdgaskraftwerken); im Reduktionsszenario ist er um 1,7 Prozentpunkte höher als im Referenzfall, was im wesentlichen mit dem Zubau hocheffizienter GuD-Kraftwerke zu erklären ist. Zum Vergleich: Der mittlere Netto-Nutzungsgrad des fossilen Kraftwerksparks der neuen Bundesländer beträgt im Jahre 2005 rund 37 %; er ist damit geringfügig höher als der entsprechende Wert in den alten Bundesländer. In diesem Rahmen sollte erwähnt werden, daß der Maßnahmenkatalog der Bundesregierung keine Maßnahme enthält, die Wirkungsgradverbesserungen von fossilen Kraftwerken initiiert oder forciert.

#### *Energieträgerspezifische Betrachtung (alte Bundesländer)*

Netto bleibt die Kapazität der *Braunkohlekraftwerke* in etwa konstant. Einer altersbedingten Stilllegung in einer Größenordnung von rund 1,6 GW steht ein Zubau neuer hocheffizienter konventioneller Kraftwerke von 2 GW gegenüber. Dies befindet sich im großen und ganzen in Übereinstimmung mit der Planung der betreffenden Energieversorgungsunternehmen. Der Braunkohleneinsatz, der als untere Grenze vorgegeben wurde, entspricht den für das Jahr 2005 geplanten Braunkohlefördermengen, die einem Bereich von 100 bis 110 Mill. t angegeben werden (Schiffer 1996):

In welcher Menge inländische *Steinkohle* (zu wettbewerbsfähigen Bedingungen) im Jahre 2005 verstromt wird, hängt maßgeblich von der Höhe und Ausgestaltung der hierfür erforderlichen Finanzierungshilfen ab. Politische Entscheidungen hierüber müssen in den kommenden Jahren getroffen werden. Demzufolge kann die Vorgabe eines solchen

Szenarioparameters nur mit großen Unsicherheiten vorgenommen werden. Momentan besteht seitens der IG Bergbau und Energie sowie des Steinkohlenbergbaus der Vorschlag, die Förderung der inländischen Steinkohle bis 2005 auf 35 Mill. t zu reduzieren, wobei 25 Mill. t für die Verstromung veranschlagt werden. Andere Vorstellungen (Schiffer 1996), die von einer bestimmten jährlichen öffentlichen Subventionsquote ausgehen, sind weitaus pessimistischer und schätzen die für die Verstromung eingesetzte Kohlemenge auf vielleicht 15 Mill. t. Dem Optimierungsmodell wurde die Verstromung von mindestens 17 Mill. t SKE (rund 500 PJ) in Form einer Restriktion „aufgezwungen“. Daneben besteht als eine weitere Option die Verstromung von Importkohle.

Im Reduktionsfall CG\_AL05 beträgt der Zubau hocheffizienter *Erdgas*-GuD-Kraftwerke etwa 5 GW. Inwieweit ein solche Maßnahme zu realisieren und mit welchen Problemen sie behaftet ist, soll an einem Vergleich verdeutlicht werden: Im Jahr 1994 lag die installierte erdgasbefeuerte Kraftwerksleistung in den alten Bundesländern bei etwa 12,5 GW (netto), wobei 2 bis 2,5 GW auf Spitzenlast-Gasturbinen entfielen. Bei den restlichen Kraftwerken handelt es sich um konventionelle erdgasbefeuerte Kraftwerke. Der Großteil dieser Anlagen ist den Verbundunternehmen zuzurechnen und dient dort der Reservebereitstellung. Da für diese Kraftwerksstandorte eine Erdgasversorgungsinfrastruktur vorhanden ist, wäre es naheliegend, konventionelle Anlagen umzurüsten oder durch GuD-Anlagen zu ersetzen. Neben dem technischen Aufwand ist allerdings auf einige Problemkreise hinzuweisen:

- Für das einzelne Energieversorgungsunternehmen bedeutet die Umrüstung eine Erhöhung der Kraftwerkskapazität. Ausgehend von einer künftig praktisch konstanten Stromnachfrage müssen andere Kapazitäten (Steinkohle, Braunkohle) quasi stillgelegt werden. In vielen Fällen sind die Erdgas- und Kohlekraftwerkskapazitäten nicht an einem Standort zu finden, so daß ein Leistungsausgleich durch Übertragungsnetze erfolgen müßte. Darüber hinaus ist zu sehen, daß Erdgas- und Kohlekapazitäten nicht gleichmäßig über alle Verbundunternehmen verteilt sind, so daß eine Umrüstung nur als eine zwischen den betreffenden Unternehmen abgestimmte Verbundlösung denkbar ist.
- Ein Großteil der heutigen Erdgaskapazitäten übernimmt derzeit Reserveaufgaben. Auch künftig wird vor dem Hintergrund einer sicheren Stromversorgung Reservevorbereitung notwendig sein, so daß hierdurch das Substitutionspotential einer weiteren begrenzenden Randbedingung ausgesetzt ist.

- Eine weiteres Hemmnis bei der Umsetzung des Substitutionspotentials könnten die Brennstoffbeschaffung sowie die von EVU einzugehenden Brennstoffabnahmeverpflichtungen (d.h. Vertrags- und somit Preisgestaltung über einen langen Zeitraum) darstellen.

Inwieweit eine Umrüstung bzw. ein Neubau in einer Größenordnung von 5 GW in der noch verbleibenden Zeit bis 2005 machbar ist, läßt sich an den Zubauraten von Erdgaskapazitäten ablesen, die in den vergangenen Jahren realisiert wurden. Während der Zubau von erdgasbefeuerten Kapazitäten in den letzten 15 Jahren aus verschiedenen Gründen (z.B. Verstromungsgesetz, Energiepreise etc.) eher gering war, lag er in den Perioden von 1970 bis 1975 und von 1975 bis 1980 in einer Größenordnung von 5,6 GW bzw. 2,8 GW. Aus rein technischer Sicht erscheint daher ein Zubau bis 2005 (also 5 GW in 9 Jahren) durchaus möglich. Allerdings kann nicht übersehen werden, daß sich der Aufwand für die Genehmigungsverfahren derart erhöht hat, daß ein Vergleich mit Zubauraten der 70er Jahre mit entsprechenden Unsicherheiten verknüpft ist. Andererseits wird vor dem Hintergrund der Liberalisierung der Energiemärkte ohnehin mit einer Zunahme der Erdgasverstromung gerechnet.

Im Jahre 1990 betrug der Erdgaseinsatz zur Stromerzeugung 198 PJ (BMWi 1996); in den Reduktionsszenarien wird er für die öffentlichen Kraftwerken im Jahre 2005 mit 438 (CG\_AL05) bis 512 PJ (CS\_AL05) veranschlagt; er liegt somit um einen Faktor 2 bis 3 über dem Wert von 1990. Der Erdgaseinsatz in Reduktionsszenarien ist in etwa vergleichbar mit den analogen Verbrauchswerten von 1975 bis 1980, als etwa 450 PJ Erdgas verstromt worden waren. Die Beantwortung der Frage, ob eine derartige Erdgasmenge für die Verstromung zur Verfügung steht, muß in einem breiteren Kontext gesehen werden. Der gesamte Erdgasverbrauch der alten Bundesländer bewegt sich in den Reduktionsszenarien in einem Bereich von 2 766 bis 2 869 PJ; er ist damit um reichlich 50 % höher als 1989.

Gegenüber dem Ausgangsjahr steigt die Stromproduktion durch Wind und Wasser um etwa 5,8 TWh und erreicht im Jahr 2005 einen Wert von rund 25 TWh (REF\_AL05). Der Anstieg im Reduktionsfall (CG\_AL05) beträgt gegenüber der Referenzentwicklung 1,7 TWh und fällt eher moderat aus. Der Einsatz *regenerativer Energieträger* spielt bei der Einhaltung des Reduktionsziels somit kaum eine Rolle. Der Anstieg von 1989 bis

2005 ist fast ausschließlich eine Folge der höheren Verstromung von Wind. Die installierte Windkraftkapazität beträgt 2005 rund 2,7 GW; sie wurde dem Modell als untere Grenze vorgegeben. Die Stromerzeugung durch Photovoltaik beträgt bei einer als untere Grenze vorgegebenen Kapazität von 22 MW etwa 0,026 TWh und ist vernachlässigbar. Im Reduktionsfall werden keine weiteren Wind- und Photovoltaikkapazitäten gebaut, so daß deren Stromproduktion nahezu konstant bleibt. Gegenüber der Referenzentwicklung erhöht sich die Kapazität der Wasserkraftwerke um etwa 220 MW und dementsprechend die Stromerzeugung. Als Fazit läßt sich festhalten, daß in den Reduktionsszenarien (CG\_AL05, CS\_AL05) das Modell eine Vielzahl anderer kostengünstigerer Reduktionsoptionen wählt. Wie Sensitivitätsrechnungen gezeigt haben, wird die Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energiequellen erst bei viel stringenteren Reduktionszielen, die in einem Bereich von 20 bis 25 % CO<sub>2</sub>-Reduktion für die alten Bundesländer liegen, signifikant ausgeweitet. Der Beitrag ist jedoch auch dann noch - gemessen an der gesamten Stromerzeugung - eher gering.

Wie aus der Einzelmaßnahmenbewertung des DIW hervorgeht, werden durch die Selbstverpflichtung der öffentlichen Stromwirtschaft sowie durch die Einspeisevergütung mit Abstand die größten Reduktionspotentiale initiiert. Alle anderen Maßnahmen im Stromerzeugungsbereich, die in irgendeiner Weise mit regenerativen Energieträgern zu tun haben, sind im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Einsparung von untergeordneter Bedeutung. Als Folge der Einspeisevergütung schätzt das DIW die zusätzliche Stromproduktion im Jahr 2005 auf rund 7,7 TWh. Demgegenüber weist das Optimierungsmodell für den Referenzfall 5,8 TWh aus.

### 6.2.2 Fernwärme

Gegenüber 1989 nimmt der Fernwärmeverbrauch in den alten Bundesländern im Referenzfall um etwa 5 % leicht ab. Als Reaktion auf die vorgegebene CO<sub>2</sub>-Restriktion steigt der Verbrauch im Reduktionsszenario und erreicht in etwa den Wert des Jahres 1989. Die gegenüber dem Referenzfall zusätzliche Wärmeerzeugung geschieht hauptsächlich im Nahwärmebereich durch den Einsatz von Biogas sowie Deponiegas. Als Ergebnis bleibt festzuhalten, daß der Fernwärmeausbau als CO<sub>2</sub>-Reduktionsoption für das Modell (insbesondere wegen der hohen Transport- und Verteilungskosten sowie der zugrunde-

liegenden, nur moderat steigenden Energiepreise) offensichtlich unattraktiv ist. Ein solches Ergebnis läßt sich natürlich nicht generell auf Einzelakteure übertragen. Es muß vor dem Hintergrund des volkswirtschaftlichen Ansatzes sowie der Modellphilosophie gesehen werden und ist im Sinne des Modellansatzes als ein mehr globaler Trend aufzufassen. Für den einzelnen nach betriebswirtschaftlichen Kriterien entscheidenden Fernwärmeversorger sind die jeweiligen individuellen Randbedingungen seines Versorgungsgebietes (z.B. Wärmedichten etc.) maßgebend, die das Modell in einer derart detaillierten Auflösung nicht abbildet. Sowohl die moderate Entwicklung der Energiepreise, welche die kapitalintensive Fernwärme im Wettbewerb beeinträchtigt, als auch der sich abzeichnende steigende Ausbau der Erdgasversorgung (oft in "fernwärmewürdigen" Gebieten, d.h. hohe Wärmedichte) dürften künftig erhebliche Hemmnisse für den Fernwärmeausbau darstellen.

### 6.3 Haushaltssektor

#### 6.3.1 Abgrenzungen, Technologieoptionen und Sparmaßnahmen

##### *Abgrenzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen*

Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der privaten Haushalte umfassen die folgenden Bereiche:

- brennstoffseitige Raumwärmebereitstellung (ohne Strom),
- brennstoffseitige Warmwassererzeugung,
- brennstoffseitiger Gerätebetrieb (dies betrifft Kochen mit Brennstoffen).

Die Emissionen des elektrischen Stromes werden dagegen im Umwandlungssektor bilanziert. Der Ausstoß für die obigen Kategorien teilt sich etwa wie folgt auf: Raumwärme 90 %, Warmwasser 9 %, Kochen 1 %. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Warmwassererzeugung hängen eng mit der Raumwärmebereitstellung zusammen. Zumindest in den zentralbeheizten Wohngebäuden wird Brauchwasser mit der Heizanlage erwärmt. Deshalb werden im folgenden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Haushaltssektors in der Summe betrachtet.

##### *Zugrunde liegende Technologieoptionen*

Aus der Vielzahl der im IKARUS-Modelldatensatz vorhandenen Technologieoptionen werden hier nur diejenigen genannt, die einen nennenswerten Beitrag zur Energiebereitstellung im Haushaltssektor leisten. Dies sind:

- Einzelöfen für Erdgas, Heizöl sowie Braun- und Steinkohle,
- Zentralheizungen für Erdgas und Heizöl, wobei hier jeweils zwischen konventionellen Anlagen und Brennwertkesseln unterschieden wird,
- elektrische Nachtspeicherheizungen,
- Fernwärmeheizungen.

Bei den Gebäudehüllen stehen dem Modell mehrere Dämmstufen zur Verfügung, die den gesamten Bereich von ungedämmten Altbauten über WSchV82, WSchV95 bis hin zur geplanten Energiesparverordnung 2000 und darüber hinaus bis zum noch weitgehend gedämmten Niedrigenergiehaus umfassen. Im IKARUS-LP-Modell werden vier aggregierte Gebäudetypen jeweils für die alten und neuen Bundesländer abgebildet:

- Einfamilienhäuser alt und neu,
- Mehrfamilienhäuser alt und neu.

Für Neubauten ist im Modell die Wärmedämmung entsprechend der WSchV95 als Mindestwert vorgegeben worden. Nicht abgebildet werden z.B. das Verbraucherverhalten oder das Investor-Mieter-Dilemma sowie sonstige nichttechnische Hemmnisse.

#### *Grundsätzliche Handlungsfelder für Sparmaßnahmen*

Auf dieser Grundlage werden durch die IKARUS-Optimierungsrechnungen Maßnahmen bzw. Handlungsfelder für die CO<sub>2</sub>-Reduktion in folgenden Bereichen identifiziert:

- Verstärkter Einsatz der effektiveren Gas-Brennwertkessel,
- Wechsel zu kohlenstoffarmen Energieträgern, insbesondere Erdgas,
- Nachrüstung eines Teils der Altbauten in den alten Bundesländern,
- Verschärfung der WSchV95 ab dem Jahre 2000 und
- Modernisierung des alten Gebäudestandes in den neuen Bundesländern.

Dabei werden Emissionsreduktionen durch effektivere Normalkessel, deren Stand der Technik sich autonom weiterentwickelt, mitberücksichtigt. Detaillierte Aussagen zu den IKARUS-Handlungsfeldern werden aus den z.T. aggregierten Optimierungsergebnissen direkt, oder durch weitere modellexogene Rechnungen abgeleitet.

#### **6.3.2 Szenarioabhängige CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Als Referenzszenario ohne besonders scharfe Reduktionsmaßnahmen (ohne CO<sub>2</sub>-Restriktion im Modell) wird für die alten Bundesländer das IKARUS-Referenzszenario

REF\_AL05 mit einer Emission von 111,0 Mill. t CO<sub>2</sub> im Jahre 2005 zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 144). Da für die neuen Bundesländer das IKARUS-Szenario REF\_NL05 schon das im Rahmen dieses Projektes vereinbarte Reduktionsniveau von 16,2 Mill. t CO<sub>2</sub> erreicht, wird durch modellexogene Rechnungen eine Zwischenstufe in Form eines Quasireferenzszenarios eingeführt. Hierzu werden die bis 1996 beschlossenen Einzelmaßnahmen entsprechend Kapitel II.5.1 herangezogen, die in den neuen Bundesländern eine Einsparung von 9,4 Mill. t erreichen ("Mit-Maßnahmen-Szenario"). Zusätzlich wird eine geschätzte autonome CO<sub>2</sub>-Minderung von 3,7 Mill. t angesetzt. Zieht man die Summe der Einsparungen von 13,1 Mill. t CO<sub>2</sub> von der Emission im Falle einer Entwicklung ohne Reduktionsmaßnahmen ab, dann ergibt sich die Emission des Quasireferenzszenarios von 25,3 Mill. t (vgl. Tabelle 145).

Zur Ermittlung der Emission im Falle einer Entwicklung ohne jegliche Reduktionsmaßnahmen wird der Stand der Technik sowie die Energieträgerstruktur eingefroren. Die gesamte Emission für 2005 wird proportional zur Zunahme der beheizten Wohnraumfläche hochgerechnet und erreicht für die neuen Bundesländer 38,4 Mill. t.

Tabelle 144

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Haushaltssektor in den alten Bundesländern im Referenz- und in den Reduktionsszenarien (Mill. t)**

	1989	2005
<b>IKARUS-Referenzszenarien</b>		
Ausgangswert (alte Bundesländer)	114,4	-
REF_AL05 (alte Bundesländer)	-	111,0 <sup>2)</sup>
Ausgangswert (neue Bundesländer)	41,3	-
REF_NL05 (neue Bundesländer 2005)	-	16,2
Summe Referenzentwicklung	155,7	127,2
<b>IKARUS-Reduktions- und Zielszenarien</b>		
CG_AL05 (alte Bundesländer 2005)	-	97,3
REF_NL05 <sup>1)</sup> (neue Bundesländer 2005)	-	16,2
Summe Zielerreichung	-	113,5

<sup>1)</sup> Für die neuen Bundesländer wurde kein weiteres Reduktionsszenario gerechnet. Deshalb wird REF\_NL05 hier auch als Zielszenario aufgeführt. <sup>2)</sup> In Tabelle 113 wird eine Emission von 119 Mill. t genannt. Dabei wurde jedoch, wie nachträgliche Analysen ergeben haben, der Einfluß der WSchV 95 nur sehr grob berücksichtigt. Die Korrektur hat die Situation in den anderen Sektoren praktisch nicht geändert.

Als Zielszenario werden im Falle der alten Bundesländer die Emissionen des IKARUS-Reduktionsszenarios CG\_AL05 von 97,3 Mill. t zugrunde gelegt und für die neuen Bundesländer 16,2 Mill. t entsprechend dem IKARUS-Szenario REF\_NL05. Die gesamte Emission in Deutschland beträgt bei Zielerreichung 113,5 Mill. t.

Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Falle der Referenzentwicklung und im Falle der Zielerreichung sind in der rechten Spalte der folgenden Tabelle 145 dargestellt.

Tabelle 145

**Szenarioabhängige CO<sub>2</sub>-Emission und CO<sub>2</sub>-Einsparung im Haushaltssektor  
in den alten und neuen Bundesländern im Jahre 2005**

	Emission Mill. t	Einsparung <sup>1)</sup> Mill. t
<b>Alte Bundesländer</b>		
IKARUS-Referenzszenario REF_AL05	111,0	22,1
IKARUS-Reduktionsszenario CG_AL05 (Zielszenario)	97,3	13,6
<b>Neue Bundesländer</b>		
1. Ohne Reduktionsmaßnahmen (Stand der Technik von 1990 eingefroren <sup>2)</sup> )	38,4	-
2. Szenario mit bis 1995/96 modellexogen beschlossenen IMA-Maßnahmen (Quasireferenzszenario)	25,3	13,1
3. IKARUS-Szenario REF_NL05 (hier als Zielszenario bezeichnet)	16,2	9,1
<sup>1)</sup> Einsparung jeweils gegenüber dem vorangehenden Szenario <sup>2)</sup> Emission im Jahre 1990 nach Kapitel 5.1.1 mit 34,9 Mill. t festgelegt		

### 6.3.3 CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen zur Zielerreichung

Entsprechend dem IKARUS-Reduktionsszenario muß der überwiegende Teil der Gasnutzer in den alten Bundesländern Brennwertkessel einsetzen, um weitere 4,8 Mill. t CO<sub>2</sub> zu sparen (vgl. Tabelle 146). Entsprechend dem Szenario REF\_NL05 ist der massive Einsatz von Brennwertkesseln in den neuen Bundesländern dagegen nicht notwendig.

Erdgas hat gegenüber Kohle je Energieeinheit einen um etwa 50 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß, in Bezug auf Heizöl sind es immerhin noch 25 %. Die Substitution von Kohle und Heizöl durch Erdgas ist damit eine attraktive Maßnahme, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im



Haushaltssektor zu verringern. Um das Reduktionsziel zu erreichen, müssen zusätzlich zu dem schon im Referenzszenario eintretenden Wechsel zum Erdgas weitere 25 % der 1990 vorhandenen Ölheizungen auf Gas umgestellt werden. Damit können die CO<sub>2</sub>-Emissionen um weitere insgesamt 3,5 Mill. t CO<sub>2</sub> reduziert werden.

Zusätzlich zu den im Referenzszenario schon vorgesehenen CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch bessere Wärmedämmung im Renovierungszyklus müssen in den alten Bundesländern durch Bestandsnachrüstung die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch um weitere 3,3 Mill. t gesenkt werden. Durch die Verschärfung der WSchV95 um rund ein Drittel wird eine Einsparung von 1,9 Mill. t erzielt. Diese Verschärfung ist von der Bundesregierung in Form einer neuen Energiesparverordnung für das Jahr 2000 auch bereits geplant.

Um das von IKARUS für die alten Bundesländer als optimal errechnete Reduktionsniveau zu erreichen, müssen insgesamt 13,5 Mill. t CO<sub>2</sub> gespart werden. In den neuen Bundesländern ist insbesondere eine weitergehende Modernisierung von ca. 35 % des Gebäude-Altbestandes notwendig, um eine zielgerichtete Emissionsminderung von 8,8 Mill. t zu realisieren.

Tabelle 146

**CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen zur Zielerreichung im Haushaltssektor  
in den alten und neuen Bundesländern im Jahre 2005**

	Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t
<b>Alte Bundesländer</b>	
A. Verstärkter Einsatz von Brennwertkesseln	4,8
B. Brennstoffwechsel (weniger Öl und mehr Gas)	3,5
C. Weitere Bestandsnachrüstung (bessere Wärmedämmung)	3,3
D. Verschärfung der WSchV ab 2000	1,9
Summe alte Bundesländer	13,6
<b>Neue Bundesländer</b>	
D. Verschärfung der WSchV ab 2000	0,3
E. Weitergehende Modernisierung des Gebäude-Altbestandes	8,8
Summe neue Bundesländer	9,1
Summe alte und neue Bundesländer	22,6

### 6.3.4 Zuordnung der IKARUS-Handlungsfelder zu den Einzelmaßnahmen

Die IKARUS-Handlungsfelder lassen sich für die Zielszenarien in den alten und neuen Bundesländern wie folgt zusammenfassen:

- A.: Erheblich verstärkter Einsatz von Gas-Brennwertkesseln
- B.: Verstärkter Brennstoffwechsel (weniger Öl und mehr Gas)
- C.: Weitere Bestandsnachrüstung der Altbauten in den alten Bundesländern (bessere Wärmedämmung)
- D.: Verschärfung der Wärmeschutzverordnung (Energieeinsparverordnung 2000)
- E.: Weitergehende Modernisierung der alten Gebäude in den neuen Bundesländern

Die entsprechenden Einzelmaßnahmen, wie sie in Teil II diskutiert wurden, lauten:

- 102: Energetische Sanierung des Gebäudebestandes
- 111: KfW-Förderprogramm für die alten Bundesländer
- 115: Ökozulagen
- i: Energiesparverordnung 2000
- ii: Gebäude Vermietungs- und Verkaufsverordnung
- iii: Grundsteuerverordnung
- iv: Verstärkte Erdgasnutzung

Tabelle 147 zeigt, daß sich den IKARUS-Handlungsfeldern meist mehrere IMA-Maßnahmen zuordnen lassen. (vgl. auch Anhang zu Kapitel II.5.1).

Tabelle 147

#### IKARUS-Handlungsfelder für weitere zielführende CO<sub>2</sub>-Einsparmaßnahmen im Jahre 2005 und Zuordnung zu den Maßnahmen der Bundesregierung

Einzelmaßnahmen-Nr.	IKARUS-Handlungsfelder	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Deutschland
		CO <sub>2</sub> -Emissionsminderung in Mill.t		
102; 111; i	A. Erheblich verstärkter Einsatz von Gas-Brennwertkesseln	4,8	- <sup>1)</sup>	4,8
111; iv	B. Verstärkter Brennstoffwechsel zu mehr Gas	3,5	- <sup>1)</sup>	3,5
102; 111; ii; iii	C. Weitere Bestandsnachrüstung in den alten Bundesländern (nicht autonom)	3,3	-	3,3
i; 115	D. Verschärfung der Wärmeschutzverordnung (Energiesparverordnung 2000)	1,9	0,3	2,2
102; ii; iii	E. Weitergehende Modernisierung in den neuen Bundesländern	-	8,8	8,8
	Summe	13,5	9,1	22,6

<sup>1)</sup> z.T. in E. enthalten

### 6.3.5 Umsetzbarkeit der Zielszenarien bis 2005

In den noch verbleibenden neun Jahren bis 2005 müssen in den alten Bundesländern zusätzlich 13,5 Mill. t reduziert werden und in den neuen Bundesländern 9,1 Mill. t (vgl. Tabelle 147). In den neuen Bundesländern handelt es sich im wesentlichen um die weitere Modernisierung von rund 35 % des Wohnungsbestandes von 1990, damit zusätzlich 8,8 Mill. t CO<sub>2</sub> eingespart werden können. Zur Umsetzung müßte ein neues Modernisierungsprogramm mit dem anderthalbfachen Volumen des noch laufenden KfW-Programms für die neuen Bundesländer aufgelegt werden.

Durch die verschärfte WSchV, die im Jahre 2000 in Kraft treten soll, können weitere 2,2 Mill. t CO<sub>2</sub> eingespart werden. Voraussetzung ist allerdings, daß sich die potentiellen Bauherren nicht durch die erneute, in kurzem Zeitabstand erfolgte Kostenerhöhung abhalten lassen. Kritiker erwarten von einer Verschärfung der WSchV eine deutliche Reduktion des Wohnungsneubaus. Sollte dies eintreten, kann die genannte Emissionsreduktion bis 2005 nicht erreicht werden.

Die Einsparung durch weitere Bestandsnachrüstungen von 3,3 Mill. t CO<sub>2</sub> setzt finanzielle Anreize voraus. Wegen der Heterogenität des Gebäudebestandes in Bezug auf Alter, energetischem Zustand und erforderlichem Kostenaufwand sind die CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten an einzelnen Gebäude ganz unterschiedlich, so daß generell eine umfassende Nachrüstung nur schwer vorgeschrieben werden kann.

Sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die verstärkte Nutzung von Erdgas um 3,5 Mill. t gesenkt werden, müssen zusätzlich zu den bereits im Referenzszenario erheblichen Heizungsumstellungen von Öl auf Gas weitere 25 % der 1990 vorhandenen Ölheizungen bis 2005 durch Gasheizungen ersetzt werden. Die Substitution von kohlenstoffreichen Energieträgern durch Erdgas hat zwar auch für den Haushaltssektor eine große Bedeutung, ist aber genauso wichtig für alle anderen Sektoren außerhalb des Verkehrs. Die Förderung einer stärkeren Erdgasnutzung ist deshalb als eine sektorübergreifende Maßnahme zu verstehen.

Entsprechend den IKARUS-Optimierungsrechnungen müßte ein sehr großer Teil der Gasnutzer in den alten Bundesländern auch Brennwertkessel einsetzen, um weitere 4,8

Mill. t CO<sub>2</sub> zu sparen. Eine solch massive Verwendung dieser Technik läßt sich aber vermutlich weder durch das laufende KfW-Programm, noch durch die geltende Heizungsanlagen-Verordnung oder die Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung erreichen. Es werden also zusätzliche Anreize erforderlich sein.

Die Situation entspannt sich aber etwas, wenn man den Verkehrssektor in die Überlegungen einbezieht. Im IKARUS-Reduktionsszenario CG\_AL05, das den bisherigen Analysen zugrunde liegt, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs nur moderat gebremst. Gelänge es aber, die verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend dem IKARUS-Szenario CS\_AL05 im Jahre 2005 etwa auf dem Emissionsniveau von 1992 zu halten, dann würde der Haushaltssektor um knapp 4 Mill. t CO<sub>2</sub> entlastet. Anstelle von 13,5 Mill. t müßten dann nur noch 9,5 Mill. t eingespart zu werden.

## **6.4 Verkehrssektor**

### **6.4.1 Abgrenzungen, Technologieoptionen und Sparmaßnahmen**

Im Modell werden die folgenden Subsektoren des Verkehrsbereichs in den alten und neuen Bundesländern abgebildet:

- Personennahverkehr (PNV) mit den Optionen:
  - \* öffentlicher Straßenverkehr,
  - \* Schienenverkehr und
  - \* Individualverkehr (Pkw).
- Personenfernverkehr (PFV) mit den Bereichen:
  - \* öffentlicher Straßenverkehr,
  - \* Schienenverkehr,
  - \* Individualverkehr und
  - \* Flugverkehr.
- Güternahverkehr (GNV) mit den Transportarten:
  - \* Bahnverkehr und
  - \* Lkw-Verkehr.
- Güterfernverkehr (GFV) mit den Optionen:
  - \* Bahnverkehr,
  - \* Lkw-Verkehr sowie
  - \* Flug- und Schiffsverkehr.

Erfasst werden nur die brennstoffseitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Elektrischer Strom, den z. B. die Bahn nutzt, wird im Umwandlungssektor bilanziert. Weiterhin ist zu beachten, daß die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Herstellung von Biokraftstoffen im Primärenergiesektor aufgeführt werden. Entsprechend dieser Art der Zuordnung werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen am Fahrzeug mit Null angesetzt, weil das Kohlendioxid abzüglich der Vorleistungsemissionen durch nachwachsende Biomasse der Atmosphäre wieder entzogen wird.

Bei der Bahn wird zwischen Diesel- und Elektroantrieb unterschieden. Die Straßenfahrzeuge werden soweit wie möglich in folgende Kategorien unterteilt:

- Benzinantrieb
  - \* Normalfahrzeug
  - \* Sparfahrzeug
- Dieselantrieb
  - \* Normalfahrzeug
  - \* Sparfahrzeug
- Alternativer Antrieb (LPG, Biokraftstoffe, CNG).

Für jede dieser Subkategorien wird den Rechnungen ein mittleres Modellfahrzeug zugrunde gelegt, das die jeweilige Flotte repräsentiert. Es werden keine Größen- oder Leistungsklassen im Modell eingeführt. Bei der Optimierung konkurrieren alle Optionen miteinander. Um zu verhindern, daß das „ungehemmte“ LP-Modell ausschließlich die billigste Lösung wählt, müssen Grenzen (Bounds) eingeführt werden, welche die nicht kostenoptimale Realität widerspiegeln. Tabelle 148 zeigt die oberen und unteren Grenzen, die im Modell für den Verkehrsbereich gesetzt wurden. Da das Modell im Spielraum zwischen den Grenzen optimiert, kann die Lösung entweder auf einer der Grenzen liegen oder irgendwo dazwischen.

Der technische Fortschritt wird in den Fahrzeugdaten in Form von veränderten Kosten und Verbräuchen berücksichtigt. Hier wird zwischen Normalfahrzeugen und Sparfahrzeugen unterschieden. Bei den ersteren wird eine autonome Wirkungsgradverbesserung bis 2005 unterstellt, bei den letzteren eine stark forcierte Verringerung der Verbräuche. Bei den Normalfahrzeugen wird für die alten Bundesländer angenommen, daß sich der Anteil der großen Fahrzeuge mit hohen Verbräuchen nicht wesentlich erhöht, so daß in der Summe die verbrauchssenkenden die verbrauchserhöhenden Faktoren übertreffen.

Tabelle 148

Wichtige Begrenzungen im Verkehrssektor<sup>1)</sup>

	Begrenzte Größe	Dimension	Grenze			
			ABL		NBL	
			untere	obere	untere	obere
Personennahverkehr	Nachfrage für Bahn	[Mrd. Pkm]	15	30	6,5	8
	Diesel-Bahn	[Mill. km]	31	40		20
	Nachfrage für Bus	[Mrd. Pkm]	30	45	3,5	6
	Diesel-Bus	[Mill. km]	370		42	
	altern. Busse	[Mill. km]		370		42
	altern. Pkw	[Mill. km]		36500		6830
	Pkw Benzin	[Mill. km]	73000		13660	
	Pkw Benzin Spar	[Mill. km]		73000		13660
	Pkw Diesel	[Mill. km]	62300	250500	11500	54620
Personenfernverkehr	Nachfrage für Bahn	[Mrd. Pkm]		60	23	25
	Elektro-Bahn	[Mill. km]	250		144	
	Diesel-Bahn	[Mill. km]		18		40
	Nachfrage für Bus	[Mrd. Pkm]		30		19
	Diesel-Bus	[Mill. km]	240		152	
	altern. Busse	[Mill. km]		119		76
	Rapsöl-Bus	[Mill. km]		240		152
	Nachfrage für Flugzeug	[Mrd. Pkm]	5	10	2,5	3
	altern. Pkw	[Mill. km]		26000		3810
	Pkw Benzin	[Mill. km]	52000		9620	
Güternahverkehr	Pkw Benzin Spar	[Mill. km]		52000		9620
	Pkw Diesel	[Mill. km]	48000	160000	9000	28000
	altern. Lkw	[Mill. km]		3800		190
	Lkw Benzin	[Mill. km]	10150		460	
	Lkw Diesel	[Mill. km]	10150		460	
Güterfernverkehr	Lkw LPG	[Mill. km]		7600		380
	Lkw Rapsöl	[Mill. km]		10150		460
	Nachfrage für Bahn	[Mrd. tkm]	70	110	60	70
	Diesel Bahn	[Mill. km]		39		24
	Nachfrage für Flugzeug	[Mrd. tkm]	0,3	0,5	0,03	0,5
	altern. Lkw	[Mill. km]		2800		800
	Nachfrage für Binnenschiff	[Mrd. tkm]	50	84	16	18

<sup>1)</sup> Die aufgelisteten Begrenzungen wurden von M. Walbeck und P. Gebauer (KFA-STE) zusammengestellt

Bei den Sparfahrzeugen wird unterstellt, daß diese gleiche Größe, Leistung und Komfort haben. Ein Trendwandel zugunsten kleiner Sparfahrzeuge, wie er gelegentlich in der umweltpolitischen Diskussion gefordert wird, ist im IKARUS-Datensatz nicht umgesetzt. Dies erschwert es dem Modell aus Kostengründen, das Sparauto verstärkt in die Lösung zu nehmen.

In der zur Zeit vorliegenden Form des IKARUS-Datensatzes werden bei den Kosten nur die Fahrzeugkosten erfasst. Infrastrukturkosten, z. B. für Straßen- und Schienenausbau werden bisher noch nicht einbezogen. Folgende CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen können mit der vorliegenden Form des IKARUS-LP-Modells berücksichtigt werden:

- autonome Wirkungsgradverbesserungen an Normalfahrzeugen,
- der Einsatz von Sparautos mit besonders niedrigem Verbrauch,
- die Verwendung von Fahrzeugen auf der Basis von alternativen, CO<sub>2</sub>-armen Treibstoffen (LPG, Biokraftstoffe, CNG) und
- die Verlagerung vom Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr.

Gar nicht oder nicht direkt berücksichtigt werden folgende Maßnahmen und Einflüsse:

- Erhöhung der Treibstoffpreise durch die Mineralölsteuer, durch eine Energie- oder CO<sub>2</sub>-Steuer,
- Erhöhung der Kfz-Steuer,
- die Einführung von Straßenbenutzungsgebühren
- Verhaltens- oder gewohnheitsbedingte Effekte wie Fahrweise, Mobilitätswünsche, Komfortansprüche, Wertvorstellungen usw.,
- Geschwindigkeitsbegrenzungen und
- organisatorische Maßnahmen zur effizienteren Gestaltung von Verkehrsabläufen.

#### **6.4.2 Szenarioabhängige CO<sub>2</sub>-Emissionen und -Einsparungen**

##### *Szenariodefinitionen*

Es werden folgende Szenarien für das Jahr 2005 untersucht und gegenübergestellt:

- Szenario ohne jegliche Reduktionsmaßnahmen, d. h. eingefrorener Stand der Technik von 1989. Dieses Szenario wird modellexogen bestimmt.
- Referenzszenarien nach IKARUS:
  - \* REF\_AL05 (alte Bundesländer)
  - \* REF\_NL05 (neue Bundesländer).

Dies sind kostenminimierte Szenarien ohne spezielle Reduktionsmaßnahmen. Allerdings wird für die gesamte Energiewirtschaft in den neuen Bundesländern schon eine so große CO<sub>2</sub>-Minderung erreicht, daß auf weitere Reduktionsszenarien verzichtet wird.

Reduktionsszenarien nach IKARUS für die alten Bundesländer mit CO<sub>2</sub>-Restriktion zur Zielerreichung:

- \* CG\_AL05: Das Reduktionsziel wird für die gesamte Energiewirtschaft global vorgegeben. Die jeweiligen sektoralen Beiträge sind das Ergebnis der Optimierung. Die sektoralen Reduktionsraten sind aufgrund unterschiedlicher Reduktionskosten ungleichmäßig verteilt.
- \* CS\_AL05: Für die einzelnen Wirtschaftssektoren werden jeweils separate Reduktionsraten vorgegeben, um eine relativ gleichmäßigere Belastung zu bekommen. Da in einem solchen Szenario die teuren Optionen mit in die Lösung gezwungen werden, steigen die gesamten Reduktionskosten drastisch an. Das Szenario CS\_AL05 wurde eingeführt, um insbesondere im Verkehrssektor eine stärkere CO<sub>2</sub>-Reduktion zu erzwingen.

#### *Entwicklung der Gesamtemission in den IKARUS-Szenarien*

Im IKARUS-Referenzszenario steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors der Bundesrepublik Deutschland von 1990 bis 2005 (entsprechend Tabelle 149) um 41,4 Mill. t (Prognos 40 Mill. t). Das entspricht einer Steigerung von 27 %. Im gleichen Zeitraum expandieren die Verkehrsleistungen im Personenverkehr, ausgedrückt in Personenkilometer (Pkm), um 28 % und die Tonnenkilometer (tkm) im Güterverkehr um die erhebliche Rate von 51 %.

In den Reduktions- bzw. Zielszenarien wird der Anstieg der Verkehrsemissionen gedämpft. Da für die neuen Bundesländer kein Reduktionsszenario gerechnet wurde, wird das Szenario REF\_NL05 auch als Zielszenario angesehen. Zusammen mit dem Reduktionsszenario für die alten Bundesländer CG\_AL05 wird der Emissionsanstieg von 1990 bis 2005 auf 30,8 Mill. t reduziert. Im Falle des IKARUS-Szenarios CS\_AL05 wird die Emission weiter verringert, so daß nur noch ein Anstieg von 22 Mill. t erwartet wird.



Tabelle 149

Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission im Verkehrssektor bis 2005 im Mill. t

	1989	1990 <sup>1)</sup>	2005	Veränderungen 1990 bis 2005
<b>IKARUS-Referenzszenarien</b>				
IKARUS-Ausgangswert ABL	134,2	135,7	-	-
Szenario REF_AL05	-	-	158,8	23,1
IKARUS-Ausgangswert NBL	15,8	17,0	-	-
Szenario REF_NL05	-	-	35,3	18,3
Summe Ausgangswert	150,0	152,7	-	-
Summe Referenzentwicklung	-	-	194,1	41,4
<b>IKARUS-Reduktions- und Zielszenarien</b>				
Szenario CG_AL05	-	-	148,2	12,5
Szenario CS_AL05	-	-	139,4	3,7
Szenario REF_NL05 <sup>2)</sup>	-	-	35,3	18,3
Summe Zielerreichung				
CG_AL05 + REF_NL05	-	-	183,5	30,8
CS_AL05 + REF_NL05	-	-	174,7	22,0

<sup>1)</sup> Interpoliert.- <sup>2)</sup> REF\_NL05 ist gleichzeitig Zielszenario

*Kostenproblematik im Verkehrssektor*

Im Unterschied zu den anderen Sektoren sinkt die CO<sub>2</sub>-Emission der Verkehrssektoren nicht unter das Niveau von 1990. Ursache hierfür sind die hohen Reduktionskosten. Der Verkehr spielt bei den Systemkosten eine herausragende Rolle. In allen Szenarien hat er den weitaus größten Anteil an den gesamten Systemkosten. So sind z. B. die Gesamtkosten des Verkehrs rund zehnmal so groß wie die Kosten des gesamten Umwandlungssektors. Die Gründe liegen in den großen Kapazitäten der in Deutschland vorhandenen Fahrzeuge, den kurzen Lebensdauern der Fahrzeuge und den geringen Nutzungsdauern, z.B. im Pkw-Verkehrsbereich. So ist z.B. die Kapazität (in GW) der in den alten Bundesländern vorhandenen Pkw rund 30mal so groß wie die Kapazität aller Kohlekraftwerke. Die spezifischen Anlagekosten (DM/GW) von Pkw sind zwar im Mittel um den Faktor 3 niedriger, dies wird aber durch die etwa ein Drittel niedrigere Lebensdauer bei den Pkw wieder kompensiert. Darüber hinaus haben Pkw gegenüber Kohlekraftwerken eine um

den Faktor 40 niedrigere Auslastung. Dies treibt bei den Pkw die spezifischen Jahreskosten (bezogen auf den Energieumsatz) drastisch in die Höhe.

Da alle Maßnahmen im Verkehr aufgrund dieser Verhältnisse spezifisch relativ teuer sind, wird das Optimierungsmodell erst die kostengünstigeren Maßnahmen aus den anderen Sektoren in Lösung nehmen. Dies hängt natürlich auch von den zugrunde gelegten Daten und Fahrzeugtypen ab.

Die folgende Tabelle 150 gibt eine Übersicht der CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten für mittlere Pkw im Jahre 2005, die modellexogen ermittelt wurden. Die zugrunde liegenden Daten wurden - soweit wie möglich - dem IKARUS-Datensatz entnommen. Diese CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten berücksichtigen sowohl die höheren Anschaffungskosten der Sparfahrzeuge gegenüber den Normalfahrzeugen als auch die erzielbaren Treibstoffeinsparungen.

Tabelle 150

**Mittlere CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten im Pkw-Bereich  
(Spar-Pkw gegen Normal-Pkw gerechnet)**

	Mit Mineralölsteuer DM/t	Ohne Mineralölsteuer DM/t
Benzin-Spar-Pkw	388	1160
Diesel-Spar-Pkw	234	575

Für den mittleren Benzin-Spar-Pkw reduziert sich im Jahre 2005 der Verbrauch auf 5,6 l/100 km (Normalfahrzeug 8,6 l/100 km) bei Mehrkosten von 7 000 DM je Fahrzeug (vgl. Tabelle 154). Beim Diesel-Spar-Pkw beträgt der Verbrauch 4,9 l/100 km (Normalfahrzeug 6,6 l/100 km), und die Mehrkosten des Fahrzeugs machen 3 000 DM aus. Bei diesen Daten wurde unterstellt, daß die Sparfahrzeuge die gleiche Größe und den gleichen Komfort haben wie die Normalfahrzeuge.

Da das IKARUS-Modell ohne Steuern und Subventionen rechnet, kommen im Modell die hohen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten aus der rechten Spalte von obiger Tabelle 150 zum Tragen. Die CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen, z.B. durch Wärmeisolierungen im Gebäudebereich, liegen zum Teil um ein Mehrfaches niedriger.

Mit dem vorliegenden IKARUS-Datensatz für den Verkehrssektor kommen Sparfahrzeuge nur bei starken CO<sub>2</sub>-Restriktionen in Lösung.

Die Sensitivitätsanalysen mit dem IKARUS-Modell zeigen, daß z.B. im Falle des Benzin-Spar-PKW die Kostenschwelle dann erreicht wäre, wenn die Sparfahrzeuge nicht 7 000 DM teurer wären, sondern nur 2 300 bis 3 000 DM. Dann würde das Modell diese Fahrzeuge auch ohne Bounds in Lösung nehmen.

Im stärkeren Reduktionsszenario CS\_AL05 steigen gegenüber dem moderaten Reduktionsszenario CG\_AL05 die sektoralen Kosten des Verkehrs fast um den Faktor vier. Damit werden die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten für das gesamte Energiesystem der alten Bundesländer von 68 DM/t auf 107 DM/t angehoben.

#### *Gebremster CO<sub>2</sub>-Anstieg in den alten Bundesländern*

Der Individualverkehr hatte im Jahre 1990 einen Anteil von etwa 93 % an den Emissionen des gesamten Personenverkehrs, wie Tabelle 151 zeigt. Im Falle der Referenzentwicklung nimmt der Ausstoß von 94,1 Mill. t im Jahre 1990 auf 104,9 Mill. t im Jahre 2005 zu. In den Reduktionsszenarien sinkt der Anteil auf 102,6 Mill. t bzw. 95,4 Mill. t. Er bleibt aber auf jeden Fall über dem 1990er Ausstoß.

Der Güterverkehr emittierte 1990 nur rund ein Viertel der gesamten Verkehrsemissionen. Dabei haben Lkw einen Anteil von 85 %. Im Referenzfall steigt der gesamte Ausstoß des Güterverkehrs bis 2005 mit rund 47 % stärker als der des Personenverkehrs mit 11 %. Die Emission der Lkw nimmt in den Reduktionsszenarien zwar ab, bleibt aber immer deutlich über dem Wert von 1990. Der Ausstoß des Flug- und Schiffverkehrs sinkt stetig.

Die gesamten Verkehrsemissionen, die durch den Pkw- und den Lkw-Verkehr bestimmt sind, lassen sich nicht unter den Ausstoß von 1990 bringen. In den Reduktionsszenarien leistet der Verkehrssektor seinen Minderungsbeitrag nur in Form eines gebremsten Anstiegs der Emissionen. Im Reduktionsszenario CS\_AL05 werden die anderen Sektoren der Energiewirtschaft gegenüber dem moderaten Reduktionsszenario um rund 9 Mill. t CO<sub>2</sub> entlastet. Davon profitieren besonders der Stromsektor, der dann 5 Mill. t mehr emittieren kann, und der Haushaltssektor mit ca. 4 Mill. t Mehremission.

Die gesamte Emission des Verkehrs im Reduktionsszenario CS\_AL05 im Jahre 2005 von 139,4 Mill. t entspricht etwa einer Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Emission in den alten Bundesländern auf dem Niveau von 1992.

Tabelle 151

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Hauptverkehrsträger  
in den alten Bundesländern bis 2005 in Mill. t**

	1989	1990 <sup>1)</sup>	2005 REF_AL05	2005 CG_AL05	2005 CS_AL05
<b>Personenverkehr</b>					
Individualverkehr (Pkw)	93,4	94,1	104,9	102,6	95,4
Gesamt. Personenverkehr	100,6	101,3	111,9	109,5	101,7
<b>Güterverkehr</b>					
Straßenverkehr (Lkw)	28,5	29,4	43,2	35,1	33,9
Gesamter Güterverkehr	33,6	34,4	46,9	38,7	37,7
<b>Gesamter Verkehr</b>	<b>134,2</b>	<b>135,7</b>	<b>158,8</b>	<b>148,2</b>	<b>139,4<sup>2)</sup></b>
<sup>1)</sup> Interpoliert <sup>2)</sup> Entspricht etwa einer Stabilisierung auf dem Referenzniveau von 1992					

*Ungebremsster CO<sub>2</sub>-Anstieg in den neuen Bundesländern*

Für die neuen Bundesländer ist das IKARUS-Referenzszenario REF\_NL05 vereinbarungsgemäß auch das Zielszenario. Im Vergleich zu den alten Bundesländern zeichnet sich hier aber eine völlig andere Entwicklung ab. So nehmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Individualverkehr und im gesamten Personenverkehr jeweils um rund 140 % zu, während die Nachfrage nach Verkehrsleistung in Form von Personenkilometern nur um 45 % steigt. In Zukunft werden verstärkt größere Fahrzeuge mit höheren Emissionen eingesetzt, der Verkehr verlagert sich von Bahn und Bus hin zu Pkw und die Besetzungszahlen für Pkw sinken. Emissionserhöhende Faktoren wirken stärker als emissionsenkende, z.B. Wirkungsgradverbesserungen.

Im Bereich des Güterverkehrs steigt die Nachfrage nach Tonnenkilometern um 75 %, während die gesamte CO<sub>2</sub>-Emission des Verkehrs um 85 % zunimmt, obwohl effizientere Fahrzeuge eingesetzt werden. Ursache hierfür ist eine Verlagerung des Gütertransportes von der Schiene auf die Straße.

Tabelle 152

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Hauptverkehrsträger  
in den neuen Bundesländern in Mill. t**

	1989	1990 <sup>1)</sup>	2005 REF_NL05
Personenverkehr			
Individualverkehr (Pkw)	8,5	9,4	23,0
Gesamter Personenverkehr	10,9	11,8	25,7
Güterverkehr			
Straßenverkehr (Lkw)	2,9	3,3	8,9
Gesamter Güterverkehr	4,9	5,2	9,6
Gesamter Verkehr	15,8	17,0	35,3
<sup>1)</sup> Interpoliert			

### 6.4.3 CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen

#### *Personenverkehr in den alten Bundesländern*

Durch technische Weiterentwicklung von Motor, Getriebe, Aerodynamik der Karosserieform, Reifenrollwiderstand und Fahrzeuggewicht wird eine weitere Verringerung des Kraftstoffverbrauchs erzielt. Für Normal-Pkw Benzin und Diesel ist bei den IKARUS-Rechnungen unterstellt, daß die Flottenverbräuche bis 2005 um rund 10 % sinken. Durch die Effizienzverbesserungen werden im Jahre 2005 in den alten Bundesländern 10,3 Mill. t CO<sub>2</sub> gespart (vgl. Tabelle 153). Ein wesentlich größerer Anteil leistungsstarker Fahrzeuge mit erhöhtem Verbrauch wird für die alten Bundesländer nicht erwartet.

Weiterhin wird ein Teil des Individualverkehrs auf die Bahn verlagert. Die Verkehrsleistung der Bahn, ausgedrückt in Personenkilometern, nimmt im IKARUS-Modell von 1989 bis 2005 um rund 47 % zu. Der Zuwachs geht zugunsten der elektrischen Bahn. Insgesamt werden hier gegenüber den Pkw 1,2 Mill. t CO<sub>2</sub> eingespart. Zur Umsetzung dieses Potentials müssen attraktive Verkehrsnetze und ein gutes Fahrplanangebot geschaffen werden. Der kleinste Posten von 0,3 Mill. t resultiert aus einem Brennstoffwechsel hin zu LPG (gerechnet gegen Benzin-Normal Pkw). Für diesen Fahrzeugtyp werden vom Modell für 2005 rund 3 Mrd Pkm errechnet, das sind 0,35 % der gesamten Personenkilometer.

Die hier genannten Einsparungen von insgesamt 11,8 Mill. t liegen dem IKARUS-Referenzszenario REF\_AL05 zugrunde (vgl. Tabelle 153). Weitere Einsparungen gegenüber dem Referenzszenario werden in dem moderaten Reduktionsszenario CG\_AL05 (2,4 Mill. t) und im stärkeren Reduktionsszenario CS\_AL05 (10,2 Mill. t) erzielt.

Tabelle 153

### CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Personenverkehr der alten Bundesländer im Jahre 2005

	CO <sub>2</sub> -Emission Mill. t	CO <sub>2</sub> -Einsparung Mill. t
Ohne jegliche Reduktionsmaßnahme (Stand der Technik 89 und Struktur eingefroren)	123,7	-
Effizienzverbesserungen (Normalfahrzeuge)	-	10,3
Mehr Bahnnutzung	-	1,2
Brennstoffwechsel (LPG)	-	0,3
Referenzszenario IKARUS REF_AL05	111,9	11,8
Mehr öffentl. Straßenverkehr	-	1,6
Spar-Fahrzeuge	-	0,5
Brennstoffwechsel (Biokraftstoff)	-	0,2
Brennstoffwechsel (LPG)	-	0,1
Reduktionsszenario IKARUS CG_AL05	109,5	2,4 <sup>1)</sup>
Mehr öffentl. Straßenverkehr	-	1,6
Spar-Fahrzeuge	-	3,2
LPG-Fahrzeuge	-	2,8
Biokraftstoffe (Ethanol, Rapsöl)	-	2,6 <sup>2)</sup>
Reduktionsszenario IKARUS CS_AL05	101,7	10,2 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Einsparung im Vergleich zum Referenzszenario REF\_AL05. <sup>2)</sup> ohne Berücksichtigung der Vorleistungsemissionen

Während es im Referenzszenario ein Umsteigen auf die Bahn gibt, erfolgt in beiden Reduktionsszenarien eine Verlagerung des Pkw-Verkehrs hin zum öffentlichen Straßenverkehr. Die mit öffentlichen Bussen gefahrenen Personenkilometer steigen von 1989 bis 2005 um rund 40 %, was eine CO<sub>2</sub>-Minderung um 1,6 Mill. t bewirkt.

Spar-Pkw, die einen deutlich niedrigeren Verbrauch haben als Normal-Pkw, übernehmen im moderaten Reduktionsszenario rund 2 % der gesamten Personenkilometer und helfen so 0,5 Mill. t CO<sub>2</sub> zu sparen (vgl. Tabelle 153). Im starken Reduktionsszenario muß sich

der Anteil der Spar-Pkw an der gesamten Verkehrsleistung auf 10 % erhöhen, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 3,2 Mill. t zu reduzieren.

Durch den verstärkten Einsatz von Sparfahrzeugen steigen die CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten sehr stark, weil im IKARUS-Datensatz die Spar-Pkw erheblich mehr kosten als die Normal-Pkw (vgl. Tabelle 154). Hier liegt die Annahme zugrunde, daß die Spar-Pkw die gleiche Größe haben wie Normal-Fahrzeuge. Mit dem derzeitigen IKARUS-Datensatz kann ein Szenario mit kleineren und billigeren Spar-Pkw nicht gerechnet werden.

Tabelle 154

**Kosten und Verbräuche für Spar-Pkw und Normal-Pkw im Jahre 2005**

	Verbrauch l/100 km	Fahrzeugkosten DM	Fixe Kosten DM/a	Variable Kosten DM/100 km
Normal-Pkw Benzin	8,6	29000	1250	6,0
Spar-Pkw Benzin	5,6	36000	1300	6,0
Normal-Pkw Diesel	6,6	31000	1400	7,5
Spar-Pkw Diesel	4,9	34000	1400	7,5

In den Reduktionsszenarien erhalten LPG und Biokraftstoffe zunehmende Bedeutung. Im moderaten Reduktionsszenario übernehmen sie zusammen ca. 0,8 % der Verkehrsleistung und sparen so 0,2 Mill. t CO<sub>2</sub>. Die Einsparung von LPG- und Ethanol-Pkw ist gegen Benzin-Normal-Pkw gerechnet und die von Rapsöl-Pkw gegen Diesel-Pkw.

Im Szenario CS\_AL05 werden 3 % der Verkehrsleistung mit Biokraftstoffen erbracht und 10 % mit LPG. Bei den Biokraftstoffen in Tabelle 153 ist zu beachten, daß die Vorleistungsemissionen, die etwa 80 bis 85 % der Einsparung aufzehren, im Sektor Primärenergie verbucht werden. Andernfalls müßte die CO<sub>2</sub>-Minderung im Szenario CS\_AL05 um rund 2 Mill. t verkleinert werden.

*Güterverkehr in den alten Bundesländern*

Der Anteil der Emissionen des Güterverkehrs am gesamten Verkehr beträgt heute rund 25 %. Bis 2005 wird er im Referenzfall auf höchstens 30 % zunehmen. Dabei steigen die Emissionen des Güterverkehrs etwa proportional zur Nachfrage nach tkm; emissionsmindernde und -erhöhende Effekte kompensieren sich. Erhebliche Einsparungen werden

in den Reduktionsszenarien erreicht. Rund 8,1 Mill. t erzielt das moderate Szenario CG\_AL05 und 9,1 Mill. t das stärkere Reduktionsszenario CS\_AL05 (vgl. Tabelle 155).

Tabelle 155

**CO<sub>2</sub>-Einsparmöglichkeiten im Güterverkehr  
in den alten Bundesländern im Jahre 2005**

CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t	CG_AL05	CS_AL05
Verlagerung von Lkw auf Bahn	4,9	4,9
Einsatz von Spar-Lkw	3,2	3,2
Wechsel zu Biokraftstoff (Rapsöl)	-	1,0 <sup>1)</sup>
Summe	8,1	9,1
<sup>1)</sup> Ohne Vorleistungsemissionen		

Der Anteil der Bahn an der gesamten Verkehrsleistung in tkm beträgt im Referenzfall 17 %. Er wächst auf 27 % in den beiden Reduktionsszenarien. Dadurch werden 4,9 Mill. t CO<sub>2</sub> gespart, wie Tabelle 155 zeigt. Der Anteil der Spar-Lkw an der Verkehrsleistung beträgt im Referenzszenario Null und steigt auf 29 % in den Reduktionsszenarien. Dies ergibt eine beachtliche CO<sub>2</sub>-Minderung von 3,2 Mill. t. Biokraftstoff erhält eine größere Bedeutung im stärkeren Reduktionsszenario CS\_AL05. Er erbringt eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 1 Mill. t. Unter Berücksichtigung der Vorleistungsemissionen würde sich die Einsparung von 9,1 Mill. t um etwa 0,8 Mill. t verringern.

## 6.5 Industrie und Kleinverbraucher

### 6.5.1 Industrie

Der Endenergieverbrauch nimmt gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 1989 um 2 % im Referenzszenario (REF\_AL05) trotz steigender Nachfragen ab. Dieser Rückgang wird stark beeinflusst durch den abnehmenden Energieverbrauch der Stahl- und Eisenbranche, der nachfragebedingt ist. Einen zweiten Effekt stellen autonome Effizienzverbesserung, andere Produktionsprozesse etc. dar, die ebenfalls zu einer Verminderung des Energieverbrauchs führen: Ein Szenario für das Jahr 2005, in dem der Stand der Technik eingefroren wird, führt zu einem rund 13 % höheren Energieverbrauch gegenüber der Ausgangssituation von 1989.

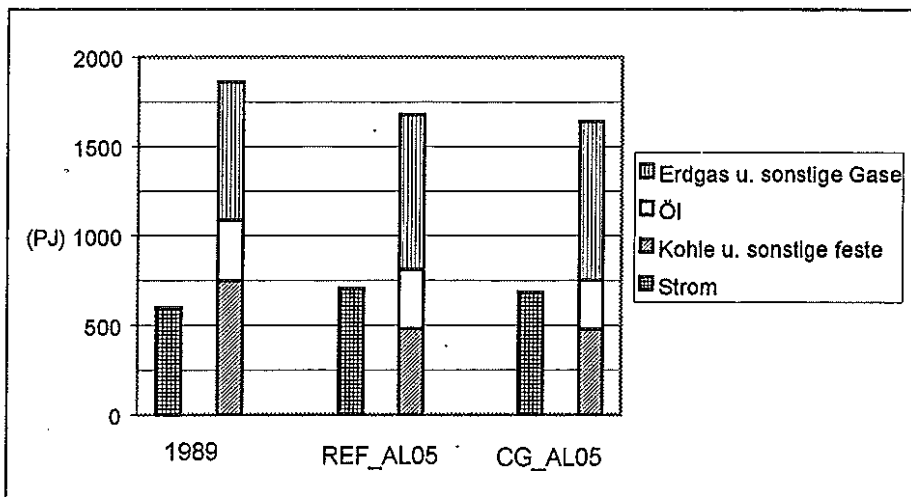


Der Rückgang des Energieverbrauchs im Reduktionsfall (CG\_AL05) beträgt 3,1%; der Absolutwert liegt bei 2 148 PJ. Abbildung 23, die den Energieeinsatz differenziert nach Energieträgern beschreibt, zeigt, daß der Trend der vergangenen Jahre (Stromzuwachs, Abnahme fossiler Energieträger) anhält: Deutlich zu erkennen ist ein Stromanstieg um 17,3 % im Referenzszenario gegenüber 1989. Gegenüber dem Referenzfall liegt der industrielle Stromverbrauch im Reduktionsfall um 2,7 % niedriger und beträgt absolut 685 PJ. Dagegen nimmt der fossile Energieeinsatz in der Referenzentwicklung um fast 10 % ab; während der vergleichbare Wert für das Reduktionszenario 12 % beträgt.

Auffällig ist der Rückgang des Kohleeinsatzes, der bereits im Referenzfall nur noch zwei Drittel des Ausgangswertes von 1989 beträgt und um 270 PJ sinkt. Im wesentlichen ist diese Entwicklung mit der rückläufigen Roheisenproduktion der Stahl- und Eisenbranche zu begründen, der als industrieller CO<sub>2</sub>-Emittent eine dominierende Rolle zukommt (Abbildung 24). Strukturbedingt nehmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser Branche um fast 30 Mill. t ab. Die Einsparung im Reduktionsfall, die lediglich auf technische Effizienzverbesserung zurückzuführen ist, ist demgegenüber unbedeutend.

Abbildung 23

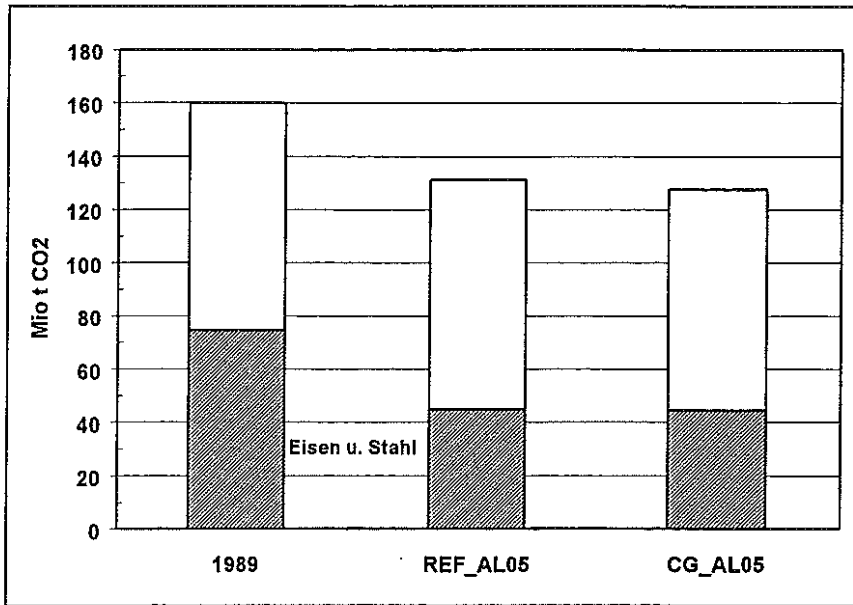
**Struktur des Energieeinsatzes in der Industrie<sup>1)</sup>  
in den alten Bundesländern 1989 und 2005**



<sup>1)</sup> Die fossilen Verbräuche beinhalten auch den Energieeinsatz für die industrielle KWK-Strom- und Wärmeerzeugung

Abbildung 24

**Industrielle CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>1)</sup> (incl. industrielle Strom- und Wärmeerzeugung)  
in den alten Bundesländern 1989 und 2005**



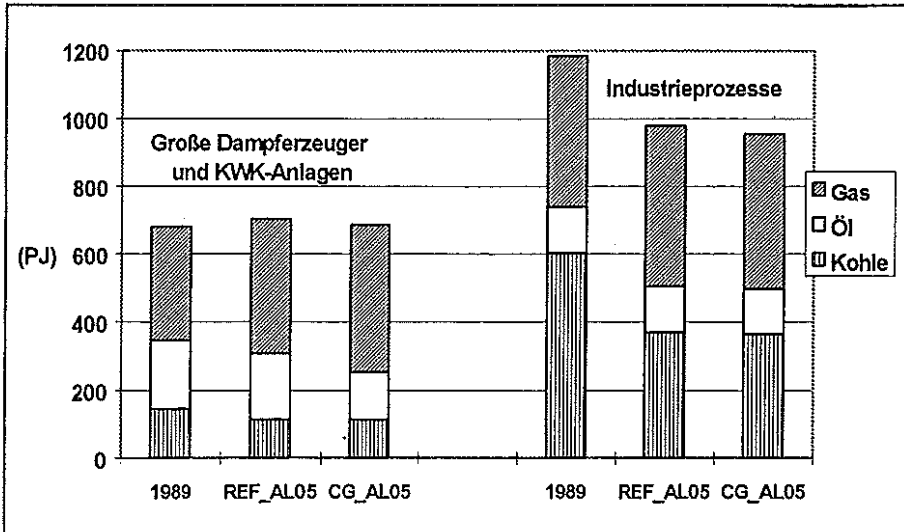
<sup>1)</sup> Hierunter sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen aller industriellen Feuerungsanlagen bilanziert, inklusive der industriellen Strom- und Wärmeerzeugung. Der Wert unterscheidet sich daher von denen anderer Emissionsbilanzen, in denen die industrielle Stromerzeugung dem Umwandlungssektor zugerechnet wird. Eine weitere Ursache für eine bilanzbedingte Abweichung ist die Verbuchung des Gichtgases. Die Unterschiede seien am Beispiel der CO<sub>2</sub>-Emissionen der alten Bundesländer für das Jahr 1990 verdeutlicht: Im ersten nationalen Klimabericht der Bundesregierung (BMU 1994, S.79) werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus sämtlichen industriellen Feuerungsanlagen mit ca. 168 Mill. t angegeben. Dieser Wert ist vergleichbar mit der vom Optimierungsmodell errechneten Emissionszahl. Legt man die Emittentenstruktur differenziert nach Umwandlungs- und Endverbrauchersektoren zugrunde, werden der Industrie nur noch ca. 122 Mill. t (BMU 1994, S.83) zugerechnet. Die Differenz von 46 Mill. t wird bilanztechnisch anderen Sektoren zugerechnet.

In der Summe nehmen die industriellen CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern bis 2005 um rund 18% (REF\_AL05) bzw. 20% (CG\_AL05) ab, verglichen mit 1989. Der Großteil der Reduktion findet also bereits im Referenzfall statt, während die Minderung gegenüber der Referenzentwicklung nur noch gering ist.

Die Struktur des Modells ermöglicht eine differenziertere Betrachtungsweise zwischen der Strom- bzw. Prozeßdampferzeugung aus großen Dampferzeugern (einschließlich KWK-Anlagen) sowie den eigentlichen Industrieprozessen (einschließlich kleinere Öfen, kleine Dampferzeuger etc.) (vgl. Abbildung 25).

Abbildung 25

**Fossiler Energieeinsatz differenziert nach Industrieprozessen  
und großen Dampferzeugern (einschließlich KWK)  
in den alten Bundesländern 1989 und 2005**



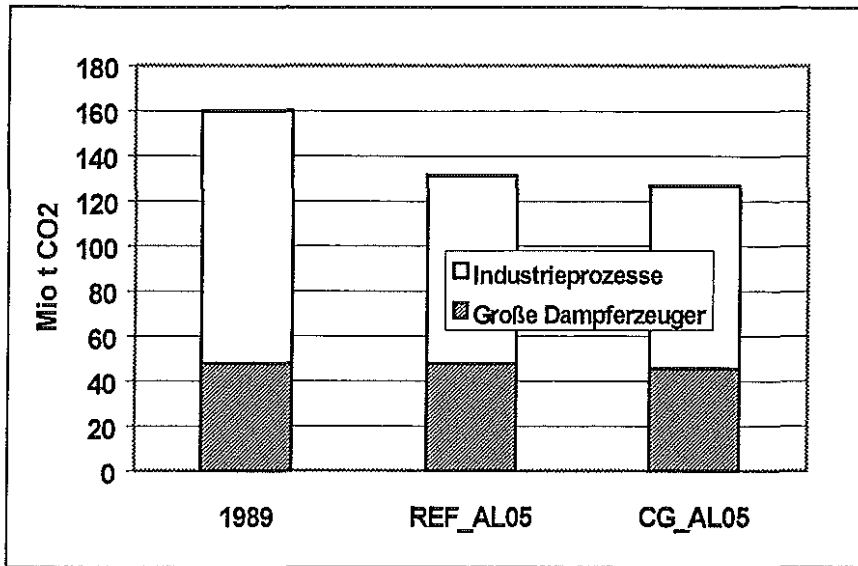
In der Summe nimmt der fossile Energieeinsatz der Industrieprozesse der für das Jahr 2005 gerechneten Szenarien gegenüber 1989 ab. Hierbei dominiert der Rückgang des Kohleinsatzes, während die Zahlen des Öl- und Gasverbrauchs sich kaum ändern. Die Unterschiede zwischen Referenzszenario und dem Reduktionsszenario sind nur noch gering.

Bei den großen Dampferzeugern wird der Mehrbedarf an Prozeßdampf (gegenüber 1989) hauptsächlich durch Erdgas gedeckt. Neben einer leichten Abnahme des Kohleinsatzes erfolgt im Reduktionsfall zusätzlich eine Substitution von Erdöl durch Erdgas.

Trotz steigender Wärme- und Prozeßdampfnachfrage bleiben die CO<sub>2</sub>-Emissionen der großen Dampferzeuger bedingt durch Brennstoffsubstitution (mehr Erdgas, weniger Kohle) und durch effizienzverbessernde Maßnahmen im Referenzfall etwa konstant. Der geringe Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Reduktionsfall ist neben der Brennstoffsubstitution (mehr Erdgas, weniger Erdöl) und effizienzsteigernden Maßnahmen auch auf eine geringere Prozeßwärmenachfrage zurückzuführen (vgl. Abbildung 26).

Abbildung 26

**CO<sub>2</sub>-Emissionen differenziert nach Industrieprozessen und großen Dampferzeugern in den alten Bundesländern 1989 und 2005**



### *Industrielle Stromerzeugung*

Absolut ändert sich gegenüber 1989 die Stromproduktion aus Eigenanlagen der Industrie nicht. Bezogen auf die Nettostromerzeugung der alten Bundesländer beträgt ihr Anteil im Jahre 2005 in den Szenarien 8,9 % (REF\_AL05) bzw. 8,7 % CG\_AL05). D.h. der Großteil des industriellen Strombedarfs stammt aus öffentlichen Stromerzeugungsanlagen. Vor dem Hintergrund des steigenden industriellen Strombedarfs sinkt also der relative Anteil der Eigenerzeugung, während die Stromlieferungen aus dem öffentlichen Netz zunehmen. Für das Modell ist es kostengünstiger öffentlichen Strom einzusetzen, als Strom in Eigenanlagen (KWK-Anlagen) zu produzieren. Schreibt man die CO<sub>2</sub>-Emissionen des aus öffentlichen Erzeugungsanlagen stammenden Stroms der Industrie zu, fällt die gesamte CO<sub>2</sub>-Reduktion im Referenzfall gegenüber 1989 mit rund 10 % (ohne stromseitige Emissionen liegt der Rückgang bei 17,9 %) etwas geringer aus. Hierbei sind Effizienzverbesserungen und Brennstoff-substitution in öffentlichen Anlagen bereits berücksichtigt (vgl. Abbildung 27).

Abbildung 27

**CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie inklusive Emissionsanteil  
aus öffentlicher Stromerzeugung in den alten Bundesländern 1989 und 2005**

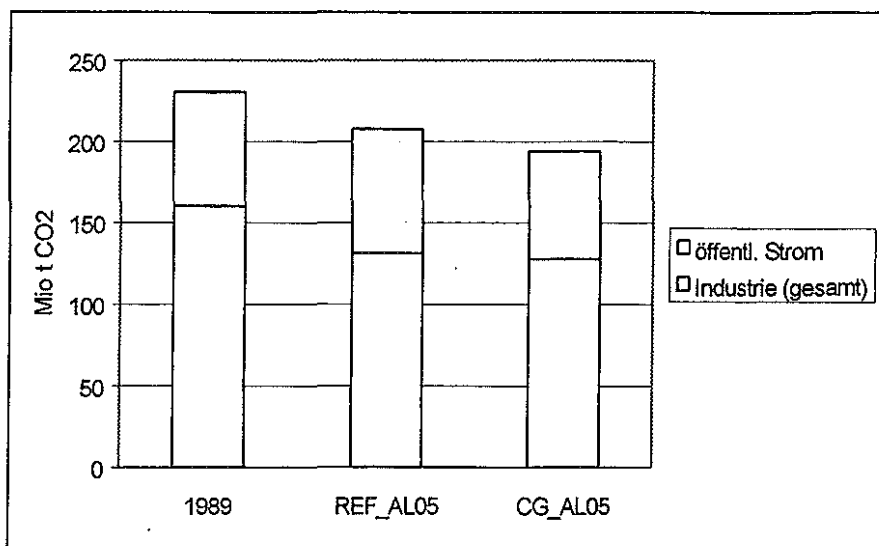


Tabelle 156 gibt die CO<sub>2</sub>-Reduktionen im Referenz- sowie im Reduktionsszenario der alten Bundesländer an, wobei zwischen strom- und brennstoffseitigen Emissionen unterschieden wird. Aufgrund des Stromverbrauchsanstiegs nehmen die stromseitigen Emissionen zu. Dieser Zuwachs wird auch durch die Brennstoffsubstitution sowie Effizienzsteigerung (in öffentlichen Kraftwerken) nicht kompensiert. Erst im Reduktionsfall sinken auch die stromseitigen Emissionen bedingt durch Stromeinsparungen sowie durch einen erhöhten Gaseinsatz zur Stromerzeugung.

Tabelle 156

**Vergleich von CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentialen im Industriesektor  
in den alten Bundesländern bis 2005**

CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t	Referenzszenario	Reduktionszenario
IKARUS (1989 - 2005)		
Summe:	- 22,8	- 13,2
davon: Brennstoff:	-28,7	- 3,5
Strom:	+ 5,9	- 9,7

(+): Anstieg, (-): Reduktion

Das vom Optimierungsmodell zusätzlich zum Referenzlauf errechnete Reduktionspotential läßt sich zusammenfassend im wesentlichen auf folgende Ursachen zurückführen:

- Gegenüber der Referenzentwicklung nehmen der fossile Energieeinsatz um 2,3 % und der Stromverbrauch um 2,7 % ab, was auf den Einsatz effizienzsteigernder Techniken (bessere Dampferzeuger und Industrieprozesse) zurückzuführen ist. Der Stromrückgang ist im wesentlichen durch Einsparmaßnahmen im Bereich Licht und Kommunikation und insbesondere durch Effizienzverbesserungen im Bereich Kraft zu begründen. Unter der Kraftanwendung sind sogenannte Querschnittstechniken (Motoren, Pumpen etc.) zusammengefaßt, die in allen Industriebranchen breite Anwendung finden. Hingegen nimmt der Stromeinsatz der eigentlichen Industrieprozesse nur marginal ab. Der Rückgang des fossilen Energieeinsatzes verteilt sich -mit Ausnahme der Eisen- und Stahlbranche- relativ gleichmäßig. Die Abnahmen liegen für die energieintensiven Branchen in einem Bereich von 3,4 % (Steine/Erden) bis 2,4 % (Chemie).
- Neben der Energieeinsparung muß parallel hierzu die Substitution von kohlenstoffreichen durch kohlenstoffärmere Brennstoffe gesehen werden. So nimmt gegenüber dem Referenzfall der Erdgaseinsatz im Reduktionsfall nochmals um 3 % zu, während der gesamte fossile Energieeinsatz abnimmt. Substitutionseffekte treten hauptsächlich bei der Prozeßwärmeerzeugung in großen Dampferzeugern auf.

Ein Vergleich mit den Werten der Einzelmaßnahmenabschätzung ist kaum möglich. Wesentliche Ursachen hierfür sind:

- Bei den Einzelmaßnahmenabschätzungen werden unmittelbar nur Angaben zu den CO<sub>2</sub>-Potentialen gemacht. Aussagen zu den Auswirkungen auf den Energieverbrauch werden dagegen nicht getroffen. Eine Auflösung der Einzelmaßnahmen auf die Technischebene des Optimierungsmodells wird nicht vorgenommen; dies ist allerdings in vielen Fällen ohnehin nicht möglich.
- Inwieweit Einzelmaßnahmen in den alten und neuen Bundesländern wirken, ist unbekannt, da eine regional differenzierte Betrachtungsweise nicht erfolgt und die Potentiale demzufolge für die gesamte Bundesrepublik angegeben werden.

- Wie bereits diskutiert, weichen die Emissionswerte des Optimierungsmodells von denen der Einzelmaßnahmenabschätzungen teilweise erheblich voneinander ab. Ursachen hierfür sind im wesentlichen bilanztechnischer Art.

### 6.5.2 Kleinverbraucher

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich im wesentlichen auf die alten Bundesländer. Auf einen detaillierten Vergleich zwischen Referenzszenario sowie dem Ausgangsjahr 1989 für die neuen Bundesländer wird verzichtet, da bei der Abgrenzung zwischen Industrie- und Kleinverbrauchssektor für das Jahr 1989 zu große Unsicherheiten bestehen. Das Referenzszenario für die neuen Bundesländer für das Jahr 2005 ist in Kapitel IV.5 beschrieben worden.

Der Rückgang des Endenergieverbrauchs im Kleinverbrauchssektor beträgt gegenüber 1989 im Referenzfall (REF\_AL05) rund 11 % (127 PJ); er ist - absolut betrachtet - von allen Endverbrauchssektoren am größten. Gegenüber dem Referenzszenario setzt sich dieser Trend zwar weiter fort; die Einsparung im Reduktionsszenario (CG\_AL05) beträgt nochmals etwa 11 % (116 PJ). Absolut betrachtet liegen jedoch die restriktionsbedingten endenergieseitigen Einsparungen in den Sektoren Haushalte (200 PJ) und Verkehr (132 PJ) über diesem Wert.

Differenziert man den Endenergieverbrauch nach Energieträgern (vgl. Tabelle 157), ist folgende Entwicklung zu beobachten: Bereits im Referenzszenario sinken der Öl- und der Stromverbrauch, während der Gasverbrauch stark zunimmt. Im wesentlichen ist dieser Trend auch in den Reduktionsszenarien festzustellen, mit Ausnahme des Stromverbrauchs, dessen Wert in etwa dem Wert von 1989 entspricht und gegenüber dem Referenzszenario wieder steigt.

Ungefähr 71 % des Endenergieverbrauchs werden zur Dampf- und sonstigen Wärmeerzeugung eingesetzt; der Rest entfällt auf Stromanwendungen (Licht, Kommunikation und Kraft) der einzelnen Subsektoren sowie auf den Verbrauch für Militärfahrzeuge. Der zuvor beschriebene Brennstoffswitch findet fast gänzlich bei den Wärmeerzeugern (Dampf-, Heizwasserkessel, Öfen) statt.

Tabelle 157

**Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch  
in den alten Bundesländern 1989 und 2005**

Energieverbrauch in PJ	1989	REF_AL05	CG_AL05	CS_AL05
Gesamt	1151	1024	908	914
davon:				
Öl	456	246	196	196
Gas	275	409	355	361
Strom	309	288	305	305
Kohle u. andere	49	46	17	17
Fernwärme	62	34	34	34

Bereits im Referenzszenario nehmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kleinverbrauchssektors um 14,8 % ab. Verglichen mit der Referenzentwicklung beträgt der vergleichbare Wert für das Reduktionsszenario (CG\_AL05) rund 25 %. Diese Entwicklung resultiert zum einen aus der Brennstoffsubstitution und zum anderen durch Einsparung und Effizienzverbesserung.

Der größte Teil erzeugten Wärme (etwa 80 %) wird für Raumwärmezwecke (als Nutzenergie) sowie zur Deckung des Warmwasserbedarfs eingesetzt. Der Rest wird in Prozessen (z.B. Trockner etc.) eingesetzt. Der Prozeßdampfverbrauch steigt im Referenzfall nachfragebedingt leicht. Erst im Reduktionsfall geht er etwas zurück, was durch den Einsatz effizienterer Prozeßtechniken zu erklären ist. Der größte Einspareffekt beruht auf dem Einsatz wärmedämmender Maßnahmen im Raumwärmebereich. Bereits im Referenzfall beträgt die Reduktion rund 7 %; sie liegt - verglichen mit der Referenzentwicklung - im Reduktionsfall bei 5,3 % (Tabelle 158).

Bedingt durch die Besonderheiten der Struktur des IKARUS-LP-Modells kann die CO<sub>2</sub>-Emission für den Raumwärmebereich nicht so ohne weiteres separat in der Ergebnisdarstellung ausgewiesen werden. Deshalb wird hier keine Detailanalyse wie bei den Wohngebäuden im Haushaltssektor durchgeführt, sondern eine mehr globale Betrachtung. Dies geschieht in Anlehnung an die Analyse im Wohngebäudebereich, die im Kapitel 6.3 dargestellt ist.



Tabelle 158

**Wärmeverbrauch im Sektor Kleinverbrauch nach Anwendungen, ABL**

Energieverbrauch in PJ	1989	REF_AL05	CG_AL05
Prozeßtechniken	131	135	121
Raumwärme/Warmwasser	590	548	526
Summe	721	683	647

Nach Prognos entfielen 1992 in der Bundesrepublik Deutschland auf Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung rund 65 % des gesamten Endenergieverbrauchs. Für 2005 wird mit 58 % ein niedrigerer Wert erwartet. Mit diesen Prozentsätzen wurde in Tabelle 159 der raumwärmebezogene Anteil der CO<sub>2</sub>-Emission an den IKARUS-Gesamtwerten geschätzt. Die erheblichen Einsparungen von 21 Mill. t bis 2005 in den neuen Bundesländern werden im wesentlichen durch den wirtschaftlichen Einbruch verursacht und zu einem kleineren Teil durch die Modernisierung von Altbauten. In den alten Bundesländern dürfte in Analogie zum Haushaltssektor die CO<sub>2</sub>-Einsparung von rund 8 Mill. t im Referenzszenario durch folgende Maßnahmen erreichbar sein:

- Einsparungen durch Wärmedämmung entsprechend der WSchV95 bei neuen Bauten,
- Minderungen infolge von Wirkungsgradverbesserungen (HeizAnlV und 1. BImSch),
- Reduktion durch bessere Wärmedämmung alter Bauten im Renovierungszyklus und
- Einsparung durch Umrüstung von Heizöl auf Erdgas.

Tabelle 159

**Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission im Kleinverbrauchssektor von 1989 bis 2005**

CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t	1989	1990 <sup>1)</sup>	REF_AL05, REF_NL05 2005	CG_AL05 2005
Gesamte Emission				
Alte Bundesländer	53,9	-	45,9	36,2
Neue Bundesländer	43,0	-	10,5	10,5
Deutschland	96,9	-	56,4	46,7
Raumwärmeanteil <sup>2)</sup>				
Alte Bundesländer	35	35	27	21
Neue Bundesländer	28	27	6	-
Deutschland	63	62	33	-

<sup>1)</sup> Interpoliert. - <sup>2)</sup> Geschätzter Anteil an den Gesamtemissionen 1989 rund 65 % und 2005 etwa 58 %

Die weiteren CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Reduktionsszenario CG\_AL05 betragen nach Tabelle 159 etwa 6 Mill. t. Wie im Haushaltssektor sind hierzu folgende Maßnahmen zusätzlich notwendig:

- Verstärkter Einsatz von Gas-Brennwertkesseln
- Vermehrte Gasnutzung (weniger Heizöl)
- Weitere Bestandsnachrüstung (Wärmedämmung)
- Verschärfung der WSchV ab dem Jahre 2000

Tabelle 160 verdeutlicht, daß auch eine erhebliche Effizienzverbesserung bei den Wärmeerzeugern stattfindet. Die deutliche Effizienzverbesserung bei den Heizwasserkesseln läßt sich mit dem Umstieg auf Erdgas-Brennwertkesseln (es werden 50 % mehr Erdgas eingesetzt als im Ausgangsjahr) erklären.

Tabelle 160

**Mittlere Nutzungsgrade von Wärmeerzeugern bei den Kleinverbrauchern  
in den alten Bundesländern 1989 und 2005**

Nutzungsgrade in %	1989	REF_AL05	CG_AL05
Dampfkessel	81	82	82
Heizwasserkessel	83	94	95

Beim Strombedarf des Kleinverbrauchssektors ist folgende Entwicklung sowohl für das Referenz- als auch für das Reduktionsszenario festzustellen: Der Strombedarf zur Wärmeerzeugung nimmt gegenüber dem Ausgangsjahr stark ab, während der Einsatz von Strom für Licht-, Kraft- und Kommunikationszwecken (etwa zwei Drittel des gesamten Stromverbrauchs) zunimmt. Diese nachfragebedingte Zunahme wird durch den abnehmenden Stromeinsatz für Wärmeerzeugung kompensiert. Gegenüber der Referenzentwicklung (REF\_AL05) bleibt der Stromeinsatz im Reduktionsszenario für Licht-, Kommunikation- und Kraftanwendungen konstant; d.h. Sparmaßnahmen in diesem Bereich sind im Vergleich zu anderen Optionen, die das Modell wählen kann, zu teuer.

Analog zum Industriesektor ist ein Vergleich mit Ergebnissen der Einzelmaßnahmenabschätzung kaum möglich, da eine Projizierung der Einzelmaßnahmen auf die Technikenebene kaum möglich ist.

## 7      Literatur zum Teil IV

- BMU (1994): Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Bonn, September 1994.
- Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) (1996): Statistischer Jahresbericht des Referats Elektrizitätswirtschaft im Bundesministerium für Wirtschaft: Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1994. VDEW-Verlag, Frankfurt am Main 1996.
- Erdmann, G. (1992): Energieökonomik, Theorie und Anwendungen, Verlag der Fachvereine Zürich, Teubner Stuttgart, 1992.
- Merten, D. Kühndelt, H. (1995): Braunkohlegewinnung und Braunkohlebrikettierung in den neuen Bundesländern. IKARUS Teilbericht 3-05, KFA Jülich 1995.
- Prognos AG (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Basel, 1995
- Schiffer, H.-W. (1996): Die Rolle der Braunkohle im Energiemix der Bundesrepublik Deutschland, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Band 20, Teil I/1996, S. 359-384.

## Anhang zu Kapitel II.5.1:

### Detailrechnungen zu den Minderungsmaßnahmen im Raumwärmebereich (Bearbeiter: KFA-Programmgruppe STE)

#### I Beschlossene Maßnahmen

Die wichtigsten Datenquellen für die folgenden Rechnungen sind die Studie der Prognos AG aus dem Jahre 1995, die IKARUS-Berichte von Kolmetz et al. sowie Untersuchungen von Ifo und ISI.

##### • Novelle der WSchV (Maßnahme 29)

Berechnung der fiktiven Einsparung für die Laufzeit 1995 - 2005 **ohne Berücksichtigung der Mehremissionen durch den Zubau und ohne Berücksichtigung des Abgangs**

Bei der Berechnung der CO<sub>2</sub> Einsparung im Bereich der privaten Haushalte wird ein Zustand entsprechend der WSchV82 zugrunde gelegt, der durch einen mittleren Heizwärmeverbrauch gekennzeichnet ist, der 43 % höher ist als bei der WSchV95. Bezogen auf diesen höheren Wert führt die WSchV95 zu einer ca. 30 %-igen Einsparung ( $100/70 = 1,43$ ). Die fiktive Gesamteinsparung ergibt sich dann durch Multiplikation der Einsparrate mit der zugebauten Wohnfläche. Diese Relationen werden für die alten Bundesländer (ABL) wie für die neuen Bundesländer (NBL) zugrunde gelegt.

- Für die Neubauten in den ABL und NBL wird ein mittleres A/V-Verhältnis (Oberfläche zu Gebäudevolumen) auf der Basis von sieben aggregierten Gebäudetypen von 0,75 unterstellt (Kolmetz, Rouvel, IKARUS Monographien Band 17). Nach der Formel für den maximalen spez. Heizwärmebedarf der WSchV95 ist der höchstens zulässige Jahres-Heizbedarf für dieses A/V Verhältnis  $85 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 0,306 \text{ GJ/m}^2\text{a}$ .
- Kumulativer Wohnflächenzugang von 1995 - 2005 (interpoliert nach Prognos 1995):
  - ABL =  $420 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
  - NBL =  $72 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
  - BRD =  $492 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

- Angenommener mittlerer Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeuger (Stand 1995) = 0,80. Dieser Wert wird konstant gehalten, da der Einfluß der Nutzungsgradverbesserung auf die CO<sub>2</sub>-Einsparung in Maßnahme 30 separat berechnet wird.
- Gesamter jährlicher Energieverbrauch der zugebauten Heizungen

$$\text{ABL: } 85 * 420 \cdot 10^6 / 0,80 = 45 \cdot 10^9 \text{ kWh/a} = 162 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$

$$\text{NBL: } 85 * 72 \cdot 10^6 / 0,80 = 7,7 \cdot 10^9 \text{ kWh/a} = 27,5 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$

$$\text{BRD: } 189,5 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$

Diese Werte entsprechen der WSchV95. Sie sind 30 % niedriger als die Werte vor Einführung der WSchV95. Setzt man die WSchV82 zu 100 %, dann entspricht die WSchV95 einem Wert von 70 %.

- Die Energieeinsparung wird aus den obigen Verbrauchswerten durch Multiplikation mit dem Faktor 30/70 ermittelt.

$$\text{ABL: } 162 \cdot 10^6 * 30/70 = 70 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$

$$\text{NBL: } 27,5 \cdot 10^6 * 30/70 = 12 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$

$$\text{BRD: } 82 \cdot 10^6 \text{ GJ/a.}$$

- Für die durchschnittliche, mit der erwarteten Heizungsstruktur der Neubauten bis 2005 gewichtete spezifische CO<sub>2</sub>-Emission gilt:

$$\text{ABL: } 62 \text{ kg/GJ} \quad (\text{Verhältnis beheizte Fläche Gas/Öl} = 1,7/1,0, \text{ nach Prognos 1995})$$

$$\text{NBL: } 60 \text{ kg/GJ} \quad (\text{Verhältnis beheizte Fläche Gas/Öl} = 3,0/1,0; \text{ nach Prognos 1995})$$

- Die fiktive jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die WSchV95 im Bereich der privaten Haushalte beträgt im Jahre 2005 für die

$$\text{ABL: } 70 \cdot 10^6 * 0,062 = 4,3 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$

$$\text{NBL: } 12 \cdot 10^6 * 0,060 = 0,7 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$

$$\text{BRD: } 5,0 \cdot 10^6 \text{ t/a.}$$

Dies sind nur die Einsparungen an den prognostizierten Neubauten von 1995 bis 2005, die durch Verbesserungen der WSchV95 gegenüber der WSchV82 entstehen.

### • Novellierung der Heizungsanlagen-Verordnung (Maßnahme 30)

Es wird eine Reihe von Annahmen getroffen, die zum Teil direkt und zum Teil indirekt durch Angaben in der am Anfang genannten Literatur gestützt sind.

#### *Annahmen*

- Von Juni 1994 (Beginn der Verordnung) bis 2005 werden in den ABL ca. 45 % der 1995 vorhandenen Heizungsanlagen erneuert. Für die NBL wird die gleiche Erwartungsrate angenommen. Dies ist bei einer mittleren Lebensdauer der Anlagen von 20 bis 25 Jahren plausibel.
- Im Jahr 1994 (Beginn der Verordnung) wird ein Endenergieverbrauch für Raumwärmeerzeugung im Haushaltssektor von ca. von 1 750 PJ (ABL) und 220 PJ (NBL) unterstellt.
- Der mittlere Nutzungsgrad aller Neuanlagen kann im Zeitraum 1995 - 2005 mit rund 85 % für die ABL und die NBL angenommen werden. Dabei sind die Werte der Anlagen, die Mitte der 90er Jahre installiert wurden niedriger als diejenigen der Heizungen, die um 2005 errichtet werden.
- Der Nutzungsgrad der ab 1995 ersetzten Altanlagen wird auf 76 % geschätzt.

#### *Berechnete Einsparung für das Jahr 2005*

In erster Näherung kann man für die ABL (NBL) annehmen, daß im Jahre 2005 rund 45 % des Endenergieverbrauchs sich im Verhältnis der Nutzungsgrade verringern, da 45 % der Heizungsanlagen bis dahin erneuert sein werden. Die Einsparungen ergeben sich dann aus folgenden Differenzen:

$$ABL = 788 - 788 \cdot 76/85 = 83 \text{ PJ}$$

$$NBL = 99 - 99 \cdot 76/85 = 10 \text{ PJ}$$

Mit einem aus Heizöl und Erdgas für 2005 gewichteten Emissionskoeffizienten von 65 kg/GJ (Altbauten) für ABL und 60 kg/GJ für NBL (stärkere Umrüstung der Altbauten in den NBL) wird die CO<sub>2</sub>-Einsparung in *Altbauten* berechnet:

$$ABL = 5,35 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$

$$NBL = 0,60 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$

Die Auswirkung der Heizungsanlagen-Verordnung ist bei den *Neubauten* deutlich geringer, weil wegen des Standes der Technik die ansetzbare Nutzungsgraddifferenz geringer ist und weil der Mehrverbrauch an Energie durch den Zubau bis 2005 nur etwa ein Zehntel des Energieverbrauchs des Bestandes im Jahre 1995 beträgt. Unter diesen Bedingungen ist eine Einsparung für die Deutschland insgesamt von rund 0,15 Mill. t zu erwarten.

Zusammen ergibt sich damit die folgende Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen:

$$ABL = 5,5 \text{ Mill. t}$$

$$NBL = 0,6 \text{ Mill t}$$

$$BRD = 6,1 \text{ Mill. t}$$

Der Einfluß der HAV auf die Stromeinsparung von ca. 0,1 Mill. t CO<sub>2</sub> ist durch die z. T. optimistischen Annahmen für die obige Berechnung erfaßt.

### • Vor-Ort-Beratung (Maßnahme 31)

#### *Basisdaten*

- Förderanträge im ersten vollen Jahr: 3261
- Dauer der „Vor-Ort-Beratung“: 9.91 - 12.97: 6,3 Jahre.  
Gefördert werden nur Gebäude, die überwiegend, d.h. mehr als zur Hälfte der Gebäude-fläche, zu Wohnzwecken genutzt werden. Die Energiesparberatung vor Ort wurde lt. Umfrage überwiegend von privaten Gebäudeeigentümern und für Ein- oder Zweifamilienhäuser in Anspruch genommen.
- Durchschnittliche Heizenergieverbräuche der betroffenen Gebäude vor der Beratung:  

$$251 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 0,904 \text{ GJ/m}^2 \text{ a}$$

$$44\,000 \text{ kWh/a} = 158,4 \text{ GJ/a (je Gebäude)}$$
- Bereitgestellte Haushaltsmittel 1992:  $3,2 \cdot 10^6$  DM
- Durchschnittliche Energieeinsparung durch die tatsächlich an den Gebäuden durchgeführten Maßnahmen: 25 %
- Durchschnittliche spezifische CO<sub>2</sub>-Emission aus Wohngebäuden gewichtet mit der Heizungsstruktur von 1992: 70 kg/GJ

- Die CO<sub>2</sub>-Reduzierung der „Vor-Ort-Beratung“ wird um den Faktor 1,22 höher geschätzt (Brennstoffwechsel):
- Als Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeuger vor der Sanierung wurde 75 % unterstellt.

#### *Berechnete Zahlenwerte*

- Energieeinsparung nach der Realisierung der Anträge im ersten vollen Jahr  

$$= 3261 * 158,4 * 0,25/0,75 = 172,2 \cdot 10^3 \text{ GJ/a}$$

Dabei wurde angenommen, daß die Zahl der Anträge im ersten Jahr auch umgesetzt wird.

- Jährliche Energieeinsparung am Ende der 6,3-jährigen Laufzeit des Förderprogramms

$$= 172,2 \cdot 10^3 * 6,3 = 1085 \cdot 10^3 \text{ GJ/a.}$$

Dabei wurde angenommen, daß die durchschnittliche Zahl der Anträge pro Jahr dem Wert des ersten vollen Jahres entspricht.

- CO<sub>2</sub>-Einsparung im ersten Jahr  $= 172,2 \cdot 10^3 * 70 * 1,22 = 14,7 \cdot 10^6 \text{ kg/a}$
- Gesamte jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung nach Ablauf der 6,3-jährigen Förderzeit  

$$= 14,7 \cdot 10^3 * 6,3 = 92,9 \cdot 10^3 \text{ t/a.}$$

#### *Aufteilung in ABL und NBL*

Da in den Referenzen keine detaillierte Information vorhanden war, wurde die Aufteilung nach dem Flächenverhältnis  $F_A/F_N = 78 \text{ \%}/22 \text{ \%}$  vorgenommen.

- $F_A = 1 \text{ 500 Mill. m}^2$ , Fläche des Gebäudebestandes in den ABL, der vor 1970 errichtet wurde mit einem durchschnittlichen Heizwärmeverbrauch von ca.  $250 \text{ kWh/m}^2$  (Kolmetz, Rouvel, Band 17).
- $F_N = 419 \text{ Mill. m}^2$ , Fläche des Gebäudebestandes in den NBL im Jahre 1989 (Kolmetz, Rouvel, Band 17).
- Die gesamte jährliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von  $92,9 \cdot 10^3 \text{ t/a}$  teilt sich wie folgt auf:

$$\text{ABL: } 0,073 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$

$$\text{NBL: } 0,020 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$



- **KfW-Wohnraummodernisierungsprogramm für die neuen Bundesländer (Maßnahme 33)**

*Basisdaten*

- Bis Ende Juni 1994:
  - \* Zugesagte Fördermittel = 27,5 Mrd. DM
  - \* Davon 11,3 Mrd. DM (41 %) für energiesparende Maßnahmen
  - \* Damit werden ca.  $1,6 \cdot 10^6$  Wohnungen gefördert
  - \* Überwiegend Ein- und Zweifamilienhäuser
  - \* Aufstockung auf 60 Mrd. DM vorgesehen.
- Ausgaben für Energiesparen je Wohnung
  - =  $11,3 \cdot 10^9 / 1,6 \cdot 10^6 = 7063 \text{ DM/Wohnung}$
- Fläche je Wohnung in den NBL =  $65 \text{ m}^2$  (1992)
- Damit ergibt sich ein durchschnittlicher Aufwand von  $7063/65 = 109 \text{ DM/m}^2$ . Investitionen für eine ölgefeuerte zentrale Heizungsanlage (Wärmeerzeuger, Verteilung und Bauliches) belaufen sich bei alten Einfamilienhäusern auf rund  $250 \text{ DM/m}^2$ , während die Investitionen für Öleinzelföfen  $45 \text{ DM/m}^2$  betragen. Die entsprechenden Kosten für Mehrfamilienhäuser sind mit  $126 \text{ DM/m}^2$  bzw.  $26 \text{ DM/m}^2$  nur etwa halb so hoch. Um den Wärmebedarf durch eine bessere Isolierung um ca. 45 bis 55 % zu reduzieren, sind beim Einfamilienhaus Zusatzkosten von ca.  $85 \text{ DM/m}^2$  notwendig und beim Mehrfamilienhaus von rund  $50 \text{ DM/m}^2$ . Die Zusatzkosten werden bei der Gebäuderenovierung als Differenz von Gesamtinvestitionen und Sowiesoinvestitionen berechnet.
- Nimmt man an, daß nur rund die Hälfte der 1,6 Mill. Wohnungen energetisch modernisiert wurden, dann ergibt sich ein durchschnittlicher Aufwand von rund  $218 \text{ DM/m}^2$  ( $2 \cdot 109$ ). Mit diesem Mitteleinsatz können folgende Reduktionen erreicht werden:
  - \* Einsparung des Heizwärmebedarfs durch bessere Wärmeisolierung um ca. 45 %.

- \* Verringerung des Endenergieeinsatzes durch effektivere Heizungsanlagen und durch teilweisen Ersatz der Einzelöfen. Es wird ein Anstieg des mittleren Jahresnutzungsgrades von 76 % auf 83 % angenommen.
- Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch den Übergang von Braunkohle auf Gas und Öl. Nimmt man an, daß die Braunkohle zu 2/3 von Gas und zu 1/3 von Heizöl ersetzt wird, dann ändert sich der Emissionskoeffizient von ca. 93 kg/GJ auf rund 64kg/GJ
- Der gewichtete spez. Heizwärmebedarf (EFH, MFH) ist = 217 kWh/m<sup>2</sup>a = 0,78 GJ/m<sup>2</sup>a.
- Nutzungsgrade der alten Heizanlagen (incl. Einzelöfen) in den NBL vor der Sanierung = 0,76.
- Spezifische CO<sub>2</sub>-Emission für NBL alte Gebäude = 93 kg/GJ (1992) = 0,093 t/GJ.

#### *Berechnete Zahlenwerte*

- Anzahl der Wohnungen für das Gesamtprogramm von 60 Mrd. DM:  

$$1,6 \cdot 10^6 \cdot 60/27,5 = 3,4 \cdot 10^6$$
- Betroffene Wohnfläche (45 %) =  $0,45 \cdot 3,4 \cdot 10^6 \cdot 65 = 100 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ . Das ist etwa ¼ des Bestandes im Jahre 1990.
- Energieeinsparung durch bessere Wärmedämmung:  

$$100 \cdot 10^6 \cdot 0,78 \cdot 0,45/0,76 = 46 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$
- CO<sub>2</sub>-Einsparung =  $46 \cdot 10^6 \cdot 0,093 = 4,3 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
- Einsparung an Endenergie durch Nutzungsgradverbesserung von 76 % auf 84 %:  

$$46 \cdot 10^6 - 46 \cdot 10^6 \cdot 0,76/0,83 = 3,9 \cdot 10^6 \text{ GJ/a.}$$
- CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Wirkungsgradverbesserung:  

$$3,9 \cdot 10^6 \cdot 0,093 = 0,4 \cdot 10^6 \text{ t/a.}$$
- Zwischensumme der Einsparung =  $4,3 \cdot 10^6 + 0,4 \cdot 10^6 = 4,7 \cdot 10^6 \text{ t}$
- CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Brennstoffwechsel:  

$$4,7 \cdot 10^6 - 4,7 \cdot 10^6 \cdot 0,064/0,093 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ t/a.}$$
- Gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung:  $6,2 \cdot 10^6 \text{ t/a}$

# • **Aufschwung Ost (Maßnahme 34)**

## *Basisdaten*

- Fördermittel 1,5 Mrd. DM (di Fördermittel decken 20 % der Aufwendungen ab).
- $882 \cdot 10^3$  Wohnungen gefördert
- $65 \text{ m}^2$  je Wohnung

## *Berechnete Zahlenwerte*

- Gesamtmitteleinsatz  $1,5 \text{ Mrd. DM} \cdot 5 = 7,5 \text{ Mrd. DM}$
- Gesamtfläche =  $882 \cdot 10^3 \cdot 65 = 57,3 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
- Spezifischer Einsatz =  $131 \text{ DM/m}^2$
- Es wird angenommen, daß pro  $\text{m}^2$  Wohnfläche eine um den Faktor  $131/218 = 0,6$  reduzierte Einsparung im Vergleich zu Maßnahme 33 erreicht wird.
- Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf =  $0,78 \text{ GJ/m}^2\text{a}$
- Energieeinsparung rund 27 % ( $0,6 \cdot 0,45$ ).
- Energieeinsparung:  $57,3 \cdot 10^6 \cdot 0,78 \cdot 0,27 = 12 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$
- $\text{CO}_2$ -Einsparung durch bessere Wärmedämmung:  $12 \cdot 10^6 \cdot 0,093 = 1,12 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
- Einsparung durch besseren Nutzungsgrad:  

$$(12 \cdot 10^6 - 12 \cdot 10^6 \cdot 0,76/0,83) \cdot 0,093 = 0,09 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$
- Zwischensumme Einsparung:  $1,1 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
- $\text{CO}_2$ -Einsparung durch Brennstoffwechsel:  

$$1,1 \cdot 10^6 - 1,1 \cdot 10^6 \cdot 0,064/0,093 = 0,34 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$
- Die gesamte  $\text{CO}_2$ -Einsparung ist dann:

Bessere Wärmedämmung:	$1,0 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
Höhere Nutzungsgrade:	$0,1 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
Brennstoffwechsel:	$0,3 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
<hr/>	
Summe:	$1,4 \cdot 10^6 \text{ t/a}$

• **Förderung des sozialen Wohnungsbaus (Maßnahme 35)**

- Zur Abschätzung der Wirkungen wird angenommen, daß die Modernisierung und Instandhaltung im Renovierungszyklus stattfindet, so daß die energetischen Verbesserungsmaßnahmen kostengünstig werden. Allerdings kann man wohl mit einer gewissen Berechtigung davon ausgehen, daß Instandhaltungsmaßnahmen eher nachrangig auf Energieeinsparung gerichtet sind.
- Bei den Maßnahmen Nr. 33 und 34 für die NBL ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Reduktion bezogen auf eine DM gesamten Mitteleinsatz von 0,1 kg/a bis 0,2 kg/a.
- Unterstellt man für die Maßnahme 35 eine vergleichbare Intensität und nimmt man an, daß nur ein Bruchteil der insgesamt für den sozialen Wohnungsbau ausgegebenen Mittel nicht für den Neubau, sondern für die Modernisierung ausgegeben werden.
- Nimmt man an, daß der gesamte Förderbetrag für den sozialen Wohnungsbau von 1 Mrd. DM von 1991 bis 2005 gezahlt würde, dann dürfte in den NBL eine jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 0,2 Mill. t nicht überschritten werden.
- Für die ABL werden entsprechend 0,5 Mill. t angesetzt.

• **Einsparung an CO<sub>2</sub> durch den Wechsel zu Erdgas im "Mit-Maßnahmen-Szenario"**

Nach Prognos ergeben sich folgende Erdgasverbräuche im Raumwärmebereich der privaten Haushalte:

ABL:	1992	609,8 PJ
	2005	739,2 PJ
	Mehrverbrauch	129,4 PJ
NBL:	1992	37,0 PJ
	2005	111,3 PJ
	Mehrverbrauch	74,3 PJ

Die Mehrverbräuche werden mit dem Verhältnis der Jahre 15/13 = 1,15 auf 1990 zurückgerechnet:

ABL:	149,3 PJ
NBL:	85,7 PJ

Die Differenz der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionskoeffizienten von Öl und Gas beträgt:

$$0,07375 \cdot 10^6 - 0,0557 \cdot 10^6 = 0,01805 \cdot 10^6 \text{ t/PJ}$$

Die CO<sub>2</sub>-Einsparung ergibt sich durch Multiplikation des Mehrverbrauchs mit der Differenz der spez. Emissionskoeffizienten. Dabei wird angenommen, daß der äquivalente Ölverbrauch wegen des etwas schlechteren Wirkungsgrades von Ölheizungen um ca. 2 % höher ist.

ABL:	$2,8 \cdot 10^6 \text{ t}$
NBL:	$1,6 \cdot 10^6 \text{ t}$
BRD:	$4,4 \cdot 10^6 \text{ t}$

Nun ist noch zu berücksichtigen, daß in den Maßnahmen Nr. 29,33 und 34 auch schon ein Brennstoffwechsel mit berechnet wurde. Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen entsprechend obiger Rechnung sind:

Maßnahme	ABL	NBL
Nr. 29	$0,6 \cdot 10^6 \text{ t}$	-
Nr. 33	-	$1,5 \cdot 10^6 \text{ t}$
Nr. 34	-	$0,3 \cdot 10^6 \text{ t}$

Für die NBL ergibt sich ein Gesamtbetrag von 1,8 Mill. t, der um 0,2 Mill. t höher ist als der aus den Prognos-Daten berechnete Wert von 1,6 Mill. t. Der Gasanteil ist von Prognos wahrscheinlich zu konservativ geschätzt worden.

Um Doppelzählungen zu vermeiden wird der Anteil der NBL auf Null gesetzt. Für die ABL werden die 0,6 Mill. t von dem oben berechneten Wert abgezogen. Damit ergibt sich die verbleibende Einsparung durch den Übergang von Öl auf Erdgas zu:

ABL:	$2,2 \cdot 10^6 \text{ t}$
NBL:	-
BRD:	$2,2 \cdot 10^6 \text{ t}$

## • KfW-Programm zur CO<sub>2</sub>-Minderung in den alten Bundesländern (Maßnahme 111)

Für das KfW-Förderprogramm waren vom Bauministerium ursprünglich 5 Mrd. DM an Kreditvolumen in Aussicht gestellt worden (Mitteilung KfW). Ende November 1996 waren ca. 1,5 Mrd. DM aus diesem Programm abgerufen. Davon wurde knapp ein Drittel für die Installation von Brennwertkesseln und etwas mehr als zwei Drittel für Wärmedämmung und Fenstererneuerung verwendet (Mitteilung von KfW vom 25. 11. 1996).

### *Ausgangsdaten und Annahmen*

- Es sollen mit dem Programm Investitionen von 5 Mrd. DM zur energetischen Verbesserung angestoßen werden.
- Bei Altbauten (vor 1983) in den ABL sind folgende Investitionen notwendig:

Zur Erzielung einer Heizwärmereduktion von ca.  $70 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 0,252 \text{ GJ/m}^2\text{a}$  sind im gewichteten Mittel Zusatzinvestitionen an den Gebäudehüllen (incl. Fenster) von Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) von rund  $40 \text{ DM/m}^2$  erforderlich (Gülec T., Kolmetz S., Rouvel L.; IKARUS-Bericht 5-22). Dabei ist vorausgesetzt, daß die Maßnahmen im Renovierungszyklus durchgeführt werden, d.h. es werden nur die Zusatzinvestitionen für die energetische Verbesserung in Rechnung gestellt. Eine Reduktion um  $70 \text{ kWh/m}^2$  entspricht einer mittleren relativen Verringerung des spezifischen Heizwärmebedarfs von etwa 40 %.

- Bei den Wärmeerzeugern (Brennwertkessel) sind folgende - auf die Wohnfläche bezogenen - Investitionen notwendig:

EFH:	70 - 80 DM/m <sup>2</sup>
MFH:	18 - 20 DM/m <sup>2</sup>

- Bei 40 % MFH Anteil und 60 % EFH Anteil ergibt sich eine gewichtete Investition für den Wärmeerzeuger von  $53 \text{ DM/m}^2$ .
- Da nur Brennwertkessel gefördert werden, wird angenommen, daß sich der Jahresnutzungsgrad von 76 % auf 98 % verbessert.
- Gewichteter CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Altbestand vor 1983 =  $0,07 \text{ t/GJ}$ . Der Einfluß des Brennstoffwechsels wird später noch berücksichtigt.

- Es wird, basierend auf der KfW-Mitteilung und auf obiger Kostenverteilung, angenommen, daß knapp die Hälfte der Gebäude, die den Wärmeschutz verbessern gleichzeitig den Wärmeerzeuger austauschen.

#### *Berechnung der Einsparung*

- Die spezifischen Gesamtinvestition für ein mittleres Gebäude entsprechend obiger Definition beläuft sich auf:

$$40 + 53/2 = 66,5 \text{ DM/m}^2$$

- Die gesamte im Rahmen des 5 Mrd. Programms sanierte Wohnfläche beträgt dann:

$$5 \cdot 10^9 / 66,5 = 75,2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

- Die erreichbare spezifische Energieeinsparung für ein mittleres Gebäude ist:

$$70/2 + 35 \cdot 0,98/0,76 = 81,1 \text{ kWh/m}^2 = 0,288 \text{ GJ/m}^2 \text{ a}$$

Die Hälfte der erreichbaren Einsparung wurde um das Verhältnis der Nutzungsgrade erhöht, weil bei der Hälfte der geförderten Gebäude eine neue Heizanlage installiert wird.

- Die Gesamteinsparung an Energie - bezogen auf den unsanierten Zustand - ist dann:

$$75,2 \cdot 10^6 \cdot 0,288 = 21,7 \cdot 10^6 \text{ GJ/a}$$

- Die CO<sub>2</sub>-Einsparung im Jahre 2005 beläuft sich auf:

$$1,25 \cdot 21,7 \cdot 10^6 \cdot 0,07 = 1,9 \cdot 10^6 \text{ t/a}$$

Wobei durch eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Einsparung von 25 % eine stärkere Gasnutzung näherungsweise berücksichtigt ist.

#### • **Ökozulagen (Maßnahme 115)**

Gewährt werden je Antragsteller für Neubau oder Kauf eines Eigenheims:

3 200 DM	Niedrigenergiehauszulage (25 % niedriger als WSchV95)
5 000 DM	Heizenergiesparzulage.
7 200 DM	Summe, für den Fall, daß beide Fördermaßnahmen in Anspruch genommen werden

Das Programm läuft drei Jahre, und zwar von Anfang 1996 bis Ende 1998. Das Bundesbauministerium erwartete nach eigenen Angaben zu Beginn des Programms folgende Inanspruchnahme je Jahr:

Heizenergiesparzulage für neue Techniken:	50 000 bis 60 000 Neubauten
	20 000 bis 30 000 Altbauten
Niedrigenergiehauszulage:	50 000 bis 60 000 Neubauten

- Unterstellt man im wesentlichen Ein- oder Zweifamilienhäuser mit einer durchschnittlichen Wohnfläche von  $150 \text{ m}^2$  und geht man davon aus, daß bei den Neubauten beide Maßnahmen gleichzeitig angewendet werden, dann ergibt sich in den drei Jahren eine geförderte Fläche von höchstens:

$$3 * (60\,000 + 30\,000) * 150 = 40,5 \cdot 10^6 \text{ m}^2.$$

- Durch die Ökozulagen soll eine Einsparung gegenüber der WSchV95 um 25 % erreicht werden.
- Die Einsparung durch neue Techniken wie Solaranlagen, Wärmepumpen und Wärmerückgewinnung wird im Mittel über alle Anlagen für Neubauten mit 25 % angesetzt und für Altbauten mit 20%.
- Die spezifische Energieeinsparung bei gleichzeitiger Nutzung der Niedrigenergiehauszulage und der Heizenergiesparzulage beträgt dann bei Neubauten in der Summe:

$$85 * (0,25 + 0,25) = 42,5 \text{ kWh/m}^2$$

$$85 \text{ kWh/m}^2 = \text{mittl. Heizwärmebedarf nach der WSchV95.}$$

- Die spezifische Einsparung bei den Altbauten (50 % entsprechen WSchV82, 50 % älter  $\rightarrow 200 \text{ kWh/m}^2$ ) ist dann:

$$200 * 0,2 = 40,0 \text{ kWh/m}^2$$

- Die gesamte Energieeinsparung ist dann:

$$(42,5 * 60\,000 + 40,0 * 30\,000) * 3 * 150 = 1,69 \cdot 10^9 \text{ kWh} = 6,08 \cdot 10^6 \text{ GJ}$$



- Mit einem mittleren CO<sub>2</sub>-Emissionskoeffizienten für 1996 bis 1998 von 0,066 t/GJ (ABL und NBL gewichtet) ergibt sich die gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung zu:

$$6,08 \cdot 10^6 \cdot 0,066 = 0,4 \cdot 10^6 \text{ t}$$

- Die gesamten Fördermittel betragen höchstens:

$$(7 \cdot 200 \cdot 60 \cdot 000 + 4 \cdot 000 \cdot 30 \cdot 000) \cdot 3 = 1,7 \text{ Mrd DM}$$

## II Weitere in Betracht gezogene Maßnahmen

Bei der Berechnung der weiteren Maßnahmen wurde davon ausgegangen, daß es keine Überschneidungen mit den beschlossenen Maßnahmen gibt.

### • Gebäudevermietung- und verkaufsVO (Maßnahme 134)

Die folgende Abschätzung beruht auf den Angaben von ISI für die Bereiche Industrie und Kleinverbraucher in Kapitel II.4:

- ISI gibt für Kleinverbraucher eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von weniger als 0,7 Mill. t CO<sub>2</sub> an.
- Die CO<sub>2</sub>-Einsparung für die privaten Haushalte wird hier wegen der größeren zu beheizenden Flächen mit ca. 1,0 Mill. t angesetzt.

### • Grundsteuer Verordnung (Maßnahme 142)

Hier wird wie bei Maßnahme 134 verfahren. Die erreichbare Einsparung für den Bereich der privaten Haushalte dürfte unter 1,0 Mill. t CO<sub>2</sub> liegen.

- **Matrix für die Zuordnung der IKARUS-Maßnahmen zu den beschlossenen und zusätzlich in Betracht gezogenen Maßnahmen:**

**IKARUS-Maßnahmen:**

- A: Erheblich verstärkter Einsatz von Gas-Brennwertkesseln
- B: Starker Brennstoffwechsel hin zu mehr Gas
- C: Nachrüstung eines Teils der Altbauten in den alten Bundesländern
- D: Verschärfung der WSchV
- E: Weitere Modernisierung des alten Gebäudebestandes in den neuen Bundesländern

**Beschlossene IMA- und zusätzlich in Betracht gezogene Maßnahmen:**

- 102: Energetische Sanierung des Gebäudebestandes
- 111: KfW-Programm für alte Bundesländer
- 115: Ökozulagen
- 133: Energiesparverordnung
- 134: Gebäude/Vermietungs- und Verkaufsverordnung
- 135: Grundsteuerverordnung
- 143: Verstärkte Erdgasnutzung

**Zuordnungsmatrix**  
(Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Mill. t)

	A	B	C	D	E	Summe
102	2,6		0,6		8,2	11,4
111	0,2	0,4	1,3			1,9
115				0,4		0,4
133	2,0			1,8		3,8
134			0,7		0,3	1,0
135			0,7		0,3	1,0
143		3,1				3,1
Summe	4,8	3,5	3,3	2,2	8,8	22,6

Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt:

---

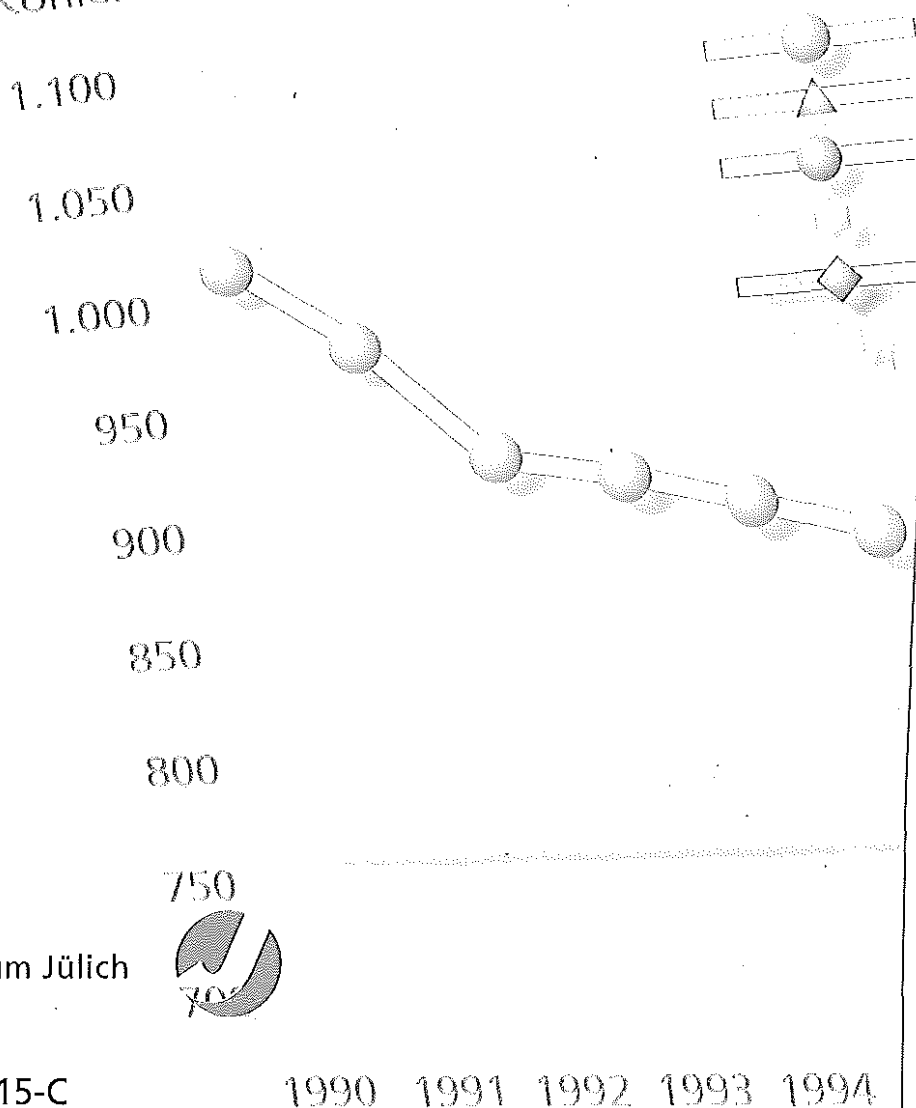
1. **Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland. Stand der Entwicklung**  
IKARUS-Workshop vom 24. bis 25. Januar 1996  
herausgegeben von S. Molt, U. Fahl (1997), 292 Seiten  
ISBN 3-89336-205-3
2. **Ausbau erneuerbarer Energiequellen in der Stromwirtschaft**  
Ein Beitrag zum Klimaschutz  
Workshop am 19. Februar 1997, veranstaltet von der Forschungszentrum Jülich GmbH und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft  
herausgegeben von J.-Fr. Hake, K. Schultze  
ISBN 3-89336-206-1
3. **Modellinstrumente für CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien**  
IKARUS-Workshop vom 14. bis 15. April 1997  
herausgegeben von J.-Fr. Hake, P. Markewitz (1997), 284 Seiten  
ISBN 3-89336-207-X
4. **IKARUS-Datenbank - Ein Informationssystem zur technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken**  
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien  
Abschlußbericht Teilprojekt 2 „Datenbank“  
H.-J. Laue, K.-H. Weber, J. W. Tepel (1997), 90 Seiten  
ISBN 3-89336-214-2
5. **Politiksznarien für den Klimaschutz**  
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes  
**Band 1. Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005**  
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1997), 410 Seiten  
ISBN 3-89336-215-0
6. **Politiksznarien für den Klimaschutz**  
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes  
**Band 2. Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO<sub>2</sub>**  
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1997), 110 Seiten  
ISBN 3-89336-216-9





Umweltplakat des 1. GZ, 1990/91  
 sowie noch ausgestellt

# Kohlendioxidemissionen in Mill. t



Forschungszentrum Jülich



ISBN 3-89 336-215-C